

การใช้ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นเลี้ยงโคนม

นางสาวธีรารณ ยืนสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2554

**USE OF CORN DISTILLERS DRIED GRAINS WITH
SOLUBLES AS A COMPOSITION
IN DAIRY CATTLE DIETS**

Teeraporn Yuensook

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Animal Production Technology**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2011

การใช้ลำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นเลี้ยงโคนม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.วิฑูรย์ โมเพี)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.พงษ์ชาญ ฌ ลำปาง)

กรรมการ

(ผศ. ดร.ปราโมทย์ แพงคำ)

กรรมการ

(ผศ. น. สพ. ดร.ภคินี คุปพิทยานันท์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ฐกิจ ลิ้มปิฉำงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(ผศ. ดร.สุเวทย์ ฌงสานนท์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ธีรภรณ์ ยืนสุข : การใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นเลี้ยงโคนม

(USE OF CORN DISTILLERS DRIED GRAINS WITH SOLUBLES AS A

COMPOSITION IN DAIRY CATTLE DIETS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์

ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ, 89 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นเลี้ยงโคนมต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย การศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของส่ำข้าวโพด และศึกษาผลของการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในแต่ละระดับของสูตรอาหารชั้น ต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม ใช้โคนมจำนวน 24 ตัว โดยทำการจัด treatment แบบ stratified random balanced group ตามปริมาณน้ำนม ระยะการให้นม อายุ และ น้ำหนักตัวก่อนการทดลอง แบ่งโคออกเป็นกลุ่มการทดลองละ 8 ตัว โคทุกตัวจะถูกเลี้ยงโดยขังในคอกเดี่ยวและเป็นอิสระต่อกันตลอดเวลา การทดลองจะใช้เวลาทั้งหมด 37 วัน โดย 7 วันแรกเป็นการปรับสัตว์ ตามด้วยระยะทดลอง 30 วัน และแบ่งการทดลองออกเป็น 6 ช่วง ๆ ละ 5 วัน มีการจดบันทึกข้อมูลปริมาณการกินได้ และน้ำหนักตัวโดยกลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม (control) ได้รับส่ำข้าวโพด 0 % เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้น กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับส่ำข้าวโพด 10 % เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้น กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับส่ำข้าวโพด 20 % เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้น โดยที่ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองได้รับส่ำข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ ผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำนม ไขมันในน้ำนม โปรตีนในน้ำนม ของแข็งรวมในน้ำนม ปริมาณแล็คโตส และของแข็งพร่องไขมัน การกินได้ของโคนมและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของทั้งสามกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ในส่วนของการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDPsup) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUPsup) ทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับอาหารชั้นที่มีส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารโดยใช้โคเจาะกระเพาะจำนวน 6 ตัวจัดแผนการทดลองแบบ duplicated 3x3 Latin square โดยให้โคเจาะกระเพาะในแต่ละตัวได้รับอาหารชั้นและอาหารหยาบตามกลุ่มการทดลองในสัดส่วนเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้านี้ ทำการวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ค่าความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3N) ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโพรพิ

อนึ่ง กรดบิวทิริก ในของเหลวในกระเพาะหมัก ผลการทดลองพบว่าส่าข้าวโพดไม่มีผลต่อค่าต่างๆ เหล่านี้ จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การใช้ส่าข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นเลี้ยงโคนมสามารถใช้ได้ในระดับสูงสุดที่ 20%



สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

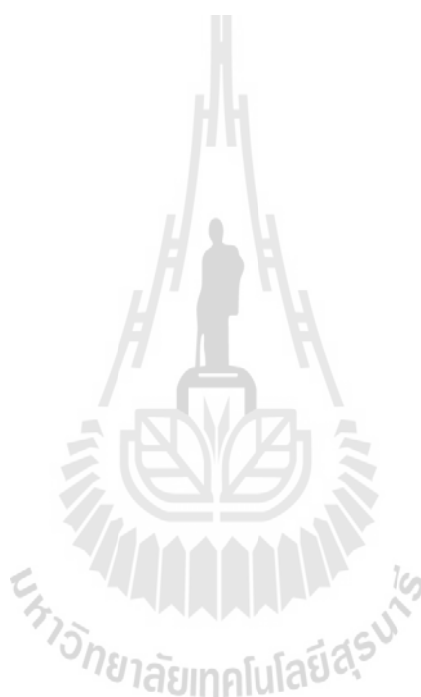
TEERAPORN YUENSOOK : USE OF CORN DISTILLERS DRIED
GRAINS WITH SOLUBLES AS A COMPOSITION IN DAIRY CATTLE
DIETS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WISITPORN SUKSOMBAT,
Ph.D., 89 PP.

MILK YIELD/ MILK PRODUCTION/ MILK COMPOSITION

This study investigates the effects of using corn distiller dried grain with soluble (DDGS) as composition in dairy cattle diets on the performance of Crossbred Holstein Friesian. It involves the determination of the chemical composition and the nutritive value of DDGS and the effects of various levels of inclusion of DDGS on milk production and milk composition of dairy cows. Twenty-four cows were stratified at random into balanced groups according to milk yield, days in milk, age and body weight with 8 cows in each group. All cows were individually housed in free-stall barn units. The experiment lasted 37 days in which the first 7 days were an adjustment period followed by 6 five-day periods. The treatments were control (0% CDDGS), 10% CDDGS and 20% CDDGS in the concentrate. All cows received corn silage as the main roughage source. Daily feed intake, milk yield and body weight were recorded. The results showed that there were no significant differences in milk yield, milk compositions (fat, protein, lactose, solid not fat, total solid), feed intake and body weight change ($P > 0.05$).

Six fistulated cows were arranged in a duplicated 3 x 3 Latin Square Design. The experiment was the same as in that for lactating cows and the cows received the same ratio of concentrate to roughage as the lactating dairy cows. The pH and concentrations of ammonia nitrogen and VFAs in rumen fluid were measured and

analyzed. CDDGS had no effects on these parameters. It can thus be concluded that CDDGS can be used as an ingredient in the concentrate of lactating dairy cows up to 20%.



School of Animal Production Technology Student's Signature _____

Academic Year 2011

Advisor's Signature _____

Co-advisor's Signatur _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ

รองศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐพร สุขสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาส การศึกษา ให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ตลอด รวมทั้งช่วยตรวจ แนะนำการเขียน ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ และสนับสนุนงบประมาณ ในการดำเนินงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ เหลืองลาวณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ได้กรุณา ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้ความรู้ และให้ คำปรึกษาทางด้านการดำเนินงานวิจัย และกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการ ผลิตสัตว์ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์

ขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งให้การสนับสนุนงบประมาณ ในการดำเนินงานวิจัย ขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาคารเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1, 2 และ 3 รวมทั้งพี่ ๆ บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ สัตว์ทดลอง เครื่องมือ อุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการทำงานวิจัย

ขอบคุณพี่น้องที่ร่วมศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาให้ความ ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่มีให้กันมาโดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ญาติพี่น้อง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิตของ ข้าพเจ้า

ธีราภรณ์ ยืนสุข

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 รายการอ้างอิง.....	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 Corn Distillers Dried Grains with Solubles.....	4
2.1.1 คุณค่าทางโภชนาของ Corn Distillers Dried Grains with Solubles (CDDGS).....	6
2.1.2 ผลตอบสนองด้านผลผลิตโคนมต่อการใช้ CDDGS.....	9
2.1.3 Milk composition.....	13
2.1.4 ระดับการใช้ CDDGS ที่เหมาะสม.....	13
2.1.5 ปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อการใช้ CDDGS ในอาหารโคนม.....	14
2.2 การย่อยและการ Metabolism ของไขมันในน้ำนม.....	16
2.2.1 กระบวนการ Metabolism ของไขมัน.....	16
2.2.2 กลไกการดูดซึมไขมัน.....	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	ความต้องการพลังงานในโคนม.....	18
2.3.1	หน่วยของพลังงาน.....	18
2.3.2	พลังงานรวม หรือ Gross Energy (GE).....	19
2.3.3	การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001).....	24
2.3.4	ความต้องการโปรตีนในโคนม.....	34
2.4	การให้น้ำนมของโค.....	38
2.4.1	การสังเคราะห์นม (Milk synthesis).....	38
2.5	รายการอ้างอิง.....	40
3	การศึกษาผลของการเสริมสาขำวโพดต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมัก.....	44
3.1	คำนำ.....	44
3.2	วัตถุประสงค์.....	45
3.3	อุปกรณ์และวิธีการ.....	45
3.3.1	การจัดการโคเจาะกระเพาะสำหรับทดลองและการใช้อาหาร.....	45
3.3.2	วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล.....	45
3.4	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	47
3.5	สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง.....	47
3.6	ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	47
3.6.1	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	47
3.6.2	ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH ₃ -N) ของ ของเหลวในกระเพาะหมัก.....	47
3.6.3	ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	48
3.7	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	51
3.7.1	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	51
3.7.2	ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	51
3.7.3	ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	52
3.8	สรุปผลการทดลอง.....	53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.9	รายการอ้างอิง.....	53
4	การศึกษาผลของการใช้ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นต่อผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และกรดไขมันในน้ำมัน.....	55
4.1	คำนำ.....	55
4.2	วัตถุประสงค์.....	55
4.3	อุปกรณ์และวิธีการ.....	56
4.3.1	การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร.....	56
4.3.2	วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล.....	57
4.3.3	การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมัน.....	60
4.4	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	60
4.5	สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง.....	60
4.6	ผลการทดลอง.....	60
4.6.1	องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร.....	60
4.6.2	ปริมาณการกินได้ของโคนม.....	65
4.6.3	การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนม ที่ได้รับอาหารชั้นสูตรทดลอง.....	66
4.6.4	น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง.....	69
4.6.5	ปริมาณน้ำมันและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน.....	69
4.6.6	องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำมัน.....	72
4.7	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	74
4.7.1	องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร.....	74
4.7.2	ปริมาณของกินได้ของโคนม.....	75
4.7.3	การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับ อาหารชั้นสูตรทดลอง.....	75
4.7.4	น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง.....	76
4.7.5	ปริมาณน้ำมันและองค์ประกอบของน้ำมัน.....	77
4.7.6	องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำมัน.....	77

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.8	สรุปผลการทดลอง.....	78
4.9	รายการอ้างอิง.....	78
5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	80
5.1	สรุป.....	80
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	80
	ภาคผนวก.....	81
	ภาคผนวก ก. การคำนวณพลังงานในอาหาร.....	82
	ประวัติผู้เขียน.....	89



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาของ CDDGS เปรียบเทียบกับ DDGS จากข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวฟ่าง..... 7
2.2	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ corn gluten feed, distillers grains, corn silage, ground corn และ soybean meal .....8
2.3	องค์ประกอบของกรดอะมิโนใน corn DDGS และ milo DDGS.....9
2.4	ผลการเสริม CDDGS ในอาหารโคนมต่อ Dry matter intake (DMI), milk yield, milk fat and milk protein content..... 10
2.5	ผลการศึกษาเปรียบเทียบ CDDGS และ soybean meal ในอาหาร โครีดนมในช่วงต้นระยะให้นม..... 12
2.6	กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) สำหรับ NFC..... 26
2.7	ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN _{ix} สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ (NRC, 2001).....29
.8	ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (Assumed 8% increase in digestibility compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จากพวงไผ่ (NRC, 2001).....29
3.1	การจัดกลุ่มทดลองโคเจาะกระเพาะ..... 45
3.2	ผลการเสริมสำข้าวโพดต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และ แอมโมเนียไนโตรเจน (NH ₃ -N) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่างๆหลังการให้อาหาร.....48
3.3	ผลการเสริมสำข้าวโพดในสูตรอาหารขึ้นต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร.....49
4.1	แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง..... 56
4.2	แสดงชนิด และปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง..... 57
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารขึ้นสำเร็จรูป และอาหารหยาบ (Mean ± SE).....62
4.4	คุณค่าทางพลังงานในสูตรอาหารขึ้นสำเร็จรูป และข้าวโพดหมัก.....63
4.5	การย่อยสลายวัตถุดิบของอาหารขึ้นสำเร็จรูป และข้าวโพดหมัก..... 64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.6 การย่อยสลายโปรตีนของอาหารชั้นสำเร็จรูป และข้าวโพดหมัก.....	64
4.7 ผลของการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร ต่อปริมาณการกินได้ของโค.....	66
4.8 ปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและความต้องการของโคนม.....	68
4.9 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร.....	68
4.10 ผลของการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารต่อ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว.....	69
4.11 ผลของการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารต่อ ปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม.....	71
4.12 ผลของการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารต่อองค์ประกอบของน้ำนม ในโคนม.....	71
4.13 ปริมาณของกรดไขมันในสูตรอาหารชั้นและหญ้าหมัก (% of total fatty acids).....	72
4.14 ผลของการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารต่อองค์ประกอบของน้ำนม.....	73

สารบัญภาพ

ภาพที่

หน้า

2.1	กระบวนการการผลิตเอทานอลจากเมล็ดข้าวโพด.....	5
2.2	ขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่างๆ.....	24



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะปัจจุบันนี้เราพบปัญหาอาหารมีราคาสูงขึ้นและนอกจากนี้ ราคาน้ำมันเองก็มีการปรับราคาที่สูงขึ้น และผลที่ตามมาคือการที่วัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาที่สูงขึ้นด้วย ในปัจจุบันวัตถุดิบอาหารสัตว์หลายชนิด อาทิ มันสำปะหลัง ข้าวโพด กากน้ำตาล ถูกนำไปผลิตเป็น เอทานอลเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามจากการผลิตเอทานอลก็ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ร่วมออกมาคือ ส่าข้าวโพด ดังนั้นส่าข้าวโพดที่เหลือจากการผลิตเอทานอลก็น่าจะนำมาใช้ประโยชน์ โดยการนำมาเป็นอาหารสัตว์หรือเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ (Schingoethe, 2007) เพราะมีราคาต่ำกว่ากากถั่วเหลือง ดังนั้นการนำส่าข้าวโพดมาทดแทนกากถั่วเหลืองในบางส่วนในสูตรอาหารก็จะสามารถช่วยลดต้นทุนราคาอาหารของเกษตรกรได้ ดังนั้นผลพลอยได้จากการผลิต เอทานอล จึงเป็นวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาสูง

ส่าข้าวโพด (Corn Distillers Dried Grains with Solubles ; CDDGS) เป็นผลผลิตจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากเมล็ดข้าวโพด เมื่อผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆแล้วจะพบว่าส่าข้าวโพดมีองค์ประกอบทางโภชนาของโปรตีนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบก่อนกระบวนการหมัก ในขณะที่ ส่าข้าวโพด มีปริมาณ neutral detergent fiber (NDF) สูง แต่จะมี lignin อยู่่น้อย ฉะนั้น NDF จาก ส่าข้าวโพด จะสามารถย่อยได้ง่ายในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งส่าข้าวโพดนี้สามารถใช้ได้ทั้งเป็นอาหารหยาบและอาหารข้นในโคนม นอกจากนี้ ส่าข้าวโพดยังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการผลิตน้ำนมและการเจริญเติบโตได้ โดยไม่ก่อให้เกิดการลดลงของ pH ในกระเพาะหมักเนื่องจากการหมักย่อยอย่างรวดเร็วของ starchy compounds Ham et al (1994) และนอกจากนี้ส่าข้าวโพดยังเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีสำหรับโคนม องค์ประกอบของโปรตีนโดยปกติจะมากกว่า 30% และส่าข้าวโพดยังเป็นแหล่งของ ruminally undegradable protein (RUP) หรือ bypass protein ที่ดีสำหรับโค คือ มีระดับ RUP ถึง 55% ของ Crude protein (CP) โคนมที่ได้รับ RUP มาก มักให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมที่สูง Pam, Kalscheur, Hippen, and Schingoethe (2006) รายงานการเสริม RUP ในรูปของ CDDGS สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมได้มากกว่าการเสริม RUP จากกากถั่วเหลือง นอกจากนี้ CDDGS ยังมีไขมันสูงกว่า DDGS ที่ผลิตจากธัญพืชอื่นๆ จึงทำให้มีพลังงาน Net energy lactation requirement for lactation (NEL) มากกว่า DDGS จากธัญพืชอื่น แต่ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ส่าข้าวโพด

เป็นอาหารโคนมในประเทศไทยยังมีน้อยมาก ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการแสดงให้เห็นถึงการใช้ประโยชน์จากลำข้าวโพดเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในอาหารชั้น และต้นทุนในการผลิตอาหารโคนมร่วมกับการศึกษาผลตอบแทนด้านผลผลิตของโคนมที่ได้รับลำข้าวโพดเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารชั้นสำหรับเลี้ยงโคนม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของลำข้าวโพด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้ลำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในแต่ละระดับของสูตรอาหารชั้นต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับอาหารชั้นที่มีลำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 การใช้ลำข้าวโพดมีคุณค่าทางโภชนาเหมาะสมสำหรับนำมาเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นสำหรับเลี้ยงโคนม
- 1.3.2 การใช้ลำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในแต่ละระดับของสูตรอาหารชั้นในการเลี้ยงโคนมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม
- 1.3.3 การใช้ลำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในแต่ละระดับของสูตรอาหารชั้นมีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

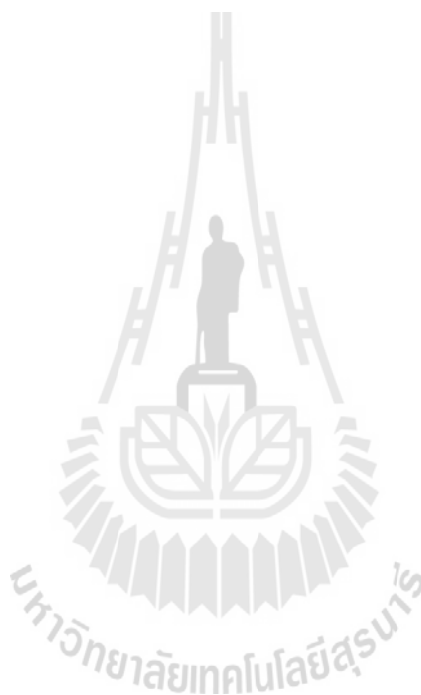
การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการใช้ลำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นสำหรับเลี้ยงโคนมลูกผสมพันธุ์โฮล สตีน์ฟรีเชียนระดับสายเลือด 87.5 % ต่อการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก ผลผลิตน้ำนม และ องค์ประกอบของน้ำนม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของลำข้าวโพด
- 1.5.2 สามารถนำลำข้าวโพดมาใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นสำหรับเลี้ยงโคนม
- 1.5.3 สามารถลดต้นทุนในการผลิตอาหารชั้นจากการนำลำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร

1.6 รายการอ้างอิง

- Ham, G. A., Stock, A. R., Klopfenstein, J. T., Larson M. E., Shain, H. D and Huffman, P. R. (1994). Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with solubles as a source of protein and energy for ruminants. **J. Anim. Sci.** 72: 3246-3257.
- Pamp, B. W., Kalscheur F. K., Hippen R. A and Schingoethe, J. D. (2006). Evaluation of dried distillers grains versus soybean protein as a source of rumen-undegradable protein for lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** 89 (Suppl.): 403 (Abstr.)
- Schingoethe, D. J. (2007). Feeding corn distillers grains to dairy cattle. **J. Dairy Sci.** 91: 1528



บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

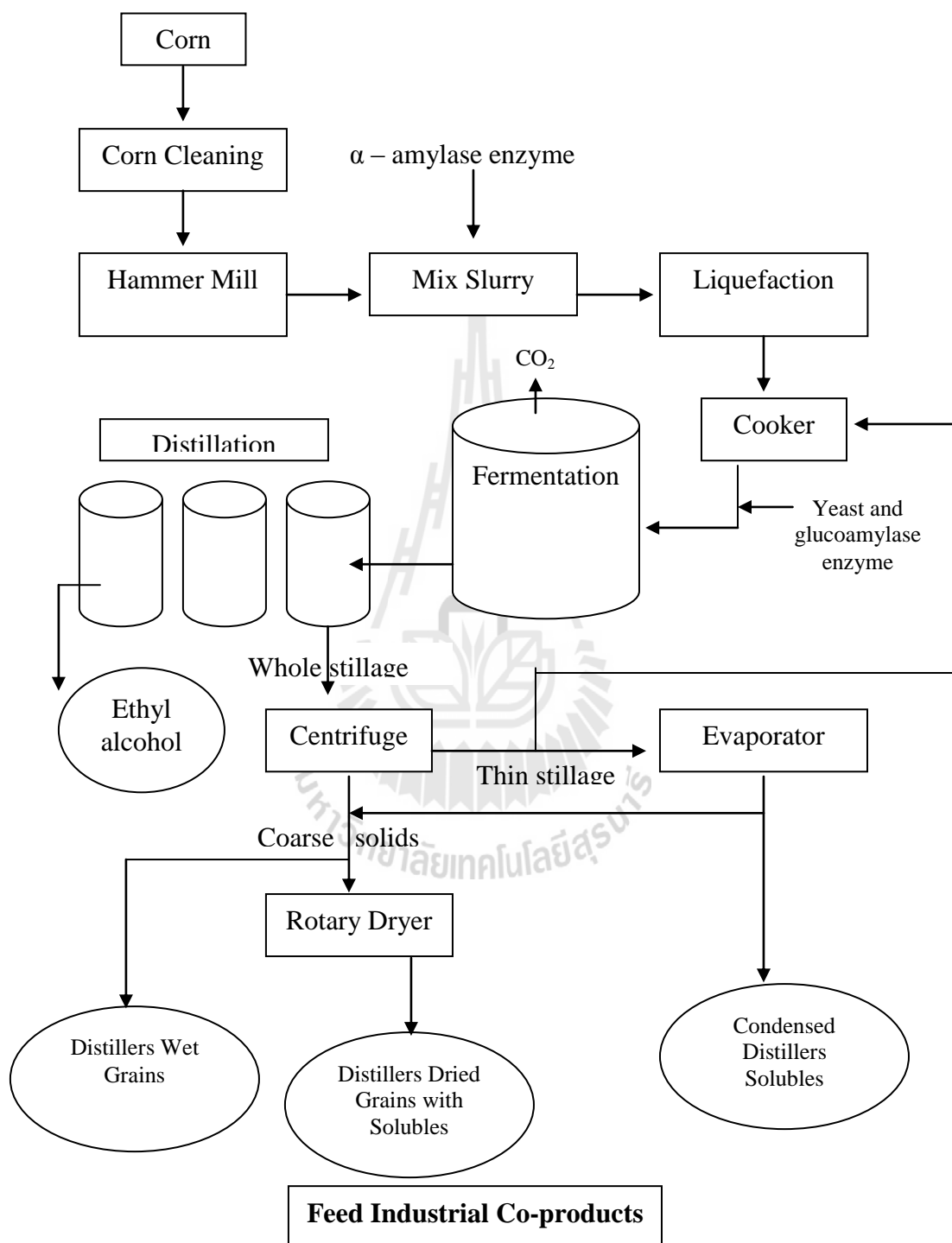
ในการเลี้ยงโคนมพบว่าต้นทุนทางด้านการจัดการด้านอาหารมีความสำคัญมากเพราะว่าต้นทุนในการเลี้ยงโคนมมากกว่า 70% นั้นเป็นอาหารและในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ภายในประเทศไทย มีการพัฒนาและขยายตัวอย่างมากในช่วงเวลาที่ผ่านมา ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์นั้น มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลทำให้ความต้องการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ดีมีคุณภาพมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น แต่ในปัจจุบันประเทศไทยขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์เกือบทุกประเภท ทำให้ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ภายในประเทศมีราคาสูงขึ้น ดังนั้นการสรรหาแหล่งของวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งใหม่ ที่มีราคาถูกและสามารถที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพื่อทดแทนแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์เดิมได้นั้น ก็คงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดี ที่จะสามารถลดต้นทุนในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ภายในประเทศไทยได้ สาโรช คำเจริญ (2547)

2.1 Corn Distillers Dried Grains

โดยปกติแล้วในการผลิตเอทานอลจะใช้วัตถุดิบหลักในการผลิตหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี และข้าวฟ่าง อย่างไรก็ตามที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ข้าวโพด ผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากเมล็ดข้าวโพด คือ Corn Distillers Dried Grains (CDDG) และ Corn Distillers Dried Grains with Solubles (CDDGS)

แผนภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตเอทานอลจากเมล็ดข้าวโพด เริ่มจากการนำเมล็ดข้าวโพดมาทำความสะอาด หลังจากนั้นทำการบดเต็ม α - amylase enzyme ทำให้เป็นของเหลว (liquefaction) ทำให้สุก เติมน้ำ yeast และ glucoamylase enzyme นำไปผ่านกระบวนการหมัก หลังจากหมักตามระยะเวลาที่กำหนด นำไปกลั่น จะได้ผลิตภัณฑ์ ethanol เศษเหลือจากการกลั่น เรียก whole stillage นำไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยงแยกส่วนที่เป็นชั้นบาง ๆ เรียก thin stillage ออกไปผ่านกระบวนการระเหยน้ำผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ condensed distillers solubles ส่วนที่เหลือจากการปั่นเหวี่ยงจะเป็นกากหยาบๆ (coarse solids) เป็นผลิตภัณฑ์ wet distillers grains สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้น โดยการนำส่วน condensed distillers solubles กลับมาผสมกับผลิตภัณฑ์ wet distillers grains แล้วผ่าน rotary dryer ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า distillers dried grains with solubles (DDGS) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเมล็ดธัญพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจะเป็นเมล็ดข้าวโพด ฉะนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก

อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล คือ CDDGS



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตเอทานอลจากเมล็ดข้าวโพด

ที่มา : Knott and Shurson (2004)

2.1.1 คุณค่าทางโภชนาของ Corn Distillers Dried Grains with Solubles (CDDGS)

คุณค่าทางโภชนาของ CDDGS เปรียบเทียบกับ DDGS จากข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวฟ่างแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาของผลิตภัณฑ์รวมเหล่านี้ส่วนใหญ่มาจาก NRC (1996, 2001) นอกจากนี้ยังได้ปรับปรุงค่าเหล่านี้จากรายงานการวิจัยในระยะหลังๆ เช่น Spiehs et al. (2002) สำหรับ “new generation” DDGS และ Birkelo, Brouk, and Schingoethe. (2004) สำหรับค่าทางพลังงานของ DDGS ผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่เหล่านี้จะมี protein, energy และ available phosphorus มากกว่า DDGS ที่ผลิตในโรงงานรุ่นเก่า ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานสมัยใหม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหมักได้ดีกว่า

DDGS มีองค์ประกอบทางโภชนาของโปรตีนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบก่อนกระบวนการหมัก ในขณะที่ DDGS มีปริมาณ NDF สูง แต่จะมี lignin อยู่่น้อย ฉะนั้น NDF จาก DDGS จะสามารถย่อยได้ง่ายในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่ง DDGS นี้สามารถใช้ได้ทั้งเป็นอาหารทดแทนอาหารหยาบและอาหารข้นในโคนม โคนมได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ DDGS ยังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการผลิตน้ำนมและการเจริญเติบโตได้ โดยไม่ก่อให้เกิดการลดลงของ pH ในกระเพาะหมักเนื่องจากการหมักย่อยอย่างรวดเร็วของ starchy compounds (Ham et al., 1994) ฉะนั้น nonforage fiber source ของ NDF จาก DDGS จึงสามารถใช้เป็นแหล่งทดแทนอาหารหยาบในยามขาดแคลนได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม DDGS มี particle size เล็ก ซึ่งอาจมี “effective fiber” ไม่เพียงพอที่จะป้องกันการลดลงของไขมันในน้ำนม (Cyriac et al., 2005)

องค์ประกอบทางโภชนาของ DDGS จากเมล็ดธัญพืชต่างๆ ขึ้นอยู่กับคุณค่าทางโภชนาของธัญพืชนั้นๆ หลังจากการหมักย่อยแปรรูปเพื่อผลิตเอทานอล เมล็ดข้าวโพดมีปริมาณแป้งมากกว่าเมล็ดข้าวฟ่าง ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ ยกตัวอย่างเช่น ถึงแม้ wheat DDGS มีโปรตีนสูงแต่มีไขมันและพลังงานต่ำกว่า corn DDGS

CDDGS เป็นแหล่งโปรตีนที่ดีสำหรับโคนม องค์ประกอบของโปรตีนโดยปกติจะมากกว่า 30% CDDGS เป็นแหล่งของ ruminally undegradable protein (RUP) หรือ by-pass protein ที่ดีสำหรับโค คือ มีระดับ RUP ถึง 55% ของ CP โคนมที่ได้รับ RUP มาก มักให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมที่สูง ดังเช่น Pamp et al. (2006) รายงานการเสริม RUP ในรูปของ CDDGS สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมได้มากกว่าการเสริม RUP จากกากถั่วเหลือง นอกจากนี้ CDDGS ยังมีไขมันมากกว่า DDGS ที่ผลิตจากธัญพืชอื่นๆ จึงทำให้มีพลังงาน NE_L มากกว่า DDGS จากธัญพืชอื่น

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาของ CDDGS เปรียบเทียบกับ DDGS จากข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวฟ่าง

Item	Grain source			
	Corn	Wheat	Barley	Sorghum
Crude protein (%)	30.1	36.2	15.4	32.0
% RUP of CP	55.0	37.2	49.0	55.0
NE _M (Mcal/kg DM)	2.07	2.18	1.87	2.11
NE _G (Mcal/kg DM)	1.41	1.50	1.24	1.39
NE _L (Mcal/kg DM)	2.26	2.02	1.73	1.91
Neutral detergent fiber (NDF)	41.5	41.4	74.3	46.0
Acid detergent fiber (ADF)	16.1	17.3	31.1	28.4
Ether extract (%)	10.7	6.7	6.0	11.5
Ash (%)	5.2	5.4	4.2	3.6
Calcium (%)	0.22	0.30	-	0.10
Phosphorus (%)	0.83	1.05	-	0.84
Magnesium (%)	0.33	0.60	-	-
Potassium (%)	1.10	1.70	-	-
Sodium (%)	0.30	0.23	-	-
Sulfur (%)	0.44	0.57	-	-

RUP = ruminally undegradable protein; NE_M = net energy for maintenance; NE_G = net energy for gain; NE_L = net energy for lactation

ที่มา: NRC (1996, 2001); Spiehs et al. (2002); Birkelo et al. (2004)

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ corn gluten feed, distillers grains, corn silage, ground corn และ soybean meal

Chemical composition	Dry corn gluten feed	Dry corn distillers grains	Corn silage	Ground corn	Soybean meal
Dry matter (%)	89	88	34	88	90
Crude protein (% DM)	25	31	8	9	50
RUP (% CP)	30	50	35	43	43
Fat (% DM)	3	13	3	4	4
ADF (% DM)	12	17	26	3	8
NDF (% DM)	37	34	44	10	13
Lignin (% DM)	1.6	5	3.5	1	1
Starch (% DM)	15	5	31	69	1.7
Calcium (% DM)	0.13	0.09	0.27	0.04	0.43
Phosphorus (% DM)	1.1	0.91	0.24	0.30	0.74
Sulfur (% DM)	0.50	0.63	0.10	0.10	0.39

ที่มา: Kononoff and Janicek (2007)

องค์ประกอบของกรดอะมิโนใน corn DDGS และ milo DDGS แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 DDGS จาก corn และ milo มี lysine และ methionine ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณ กรด อะมิโนทั้ง 2 ชนิดนี้ มีค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ฉะนั้นถ้าจะใช้ DDGS ในปริมาณที่สูงในอาหารโคนม ควรมีการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ หรือใช้วัตถุดิบชนิดอื่นที่มีกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดนี้อยู่สูง

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของกรดอะมิโนใน corn DDGS และ milo DDGS

Amino acid	CDDGS ¹	CDDGS ²	MDDGS
Lysine	0.70	0.47	0.95
Methionone	0.60	0.63	0.50
Histidine	0.70	0.76	0.69
Arginine	1.05	1.05	2.40
Threonine	0.93	1.01	0.92
Leucine	2.23	3.42	4.98
Isoleucine	1.52	1.12	0.92
Valine	1.63	1.55	1.07
Phenylalanine	1.51	1.27	1.47
Tryptiphan	0.20	-	-

ที่มา: Powers et al. (1995)

2.1.2 ผลตอบสนองด้านผลผลิตโคนมต่อการใช้ CDDGS

เพื่อให้ทราบถึงการใช้ CDDGS จะมีผลกระทบต่อโคนมในด้านต่างๆ หรือไม่ Kalscheur (2005) ได้ดำเนินการวิจัย โดยนำข้อมูลจากงานวิจัย 23 งานวิจัย ระหว่างปี 1982 – 2005 ประกอบด้วยกลุ่มทดลอง 96 กลุ่ม มาเปรียบเทียบเพื่อศึกษาผลกระทบดังกล่าว อย่างไรก็ตามต้องยอมรับว่าคุณภาพของ CDDGS นั้นเปลี่ยนไปตามเวลาที่เปลี่ยนไป กล่าวคือ CDDGS ที่ผลิตเมื่อหลายปีก่อนจะมีคุณภาพด้อยกว่า CDDGS ที่ผลิตด้วยเครื่องจักรและกระบวนการหมักที่ทันสมัยในปัจจุบัน เพื่อศึกษาระดับการเสริม CDDGS มีผลต่อผลผลิตโคนม ได้ทำการแบ่งกลุ่มระดับการเสริมเป็น 5 ระดับ คือ 0, 4-10%, 10-20%, 20-30% และมากกว่า 30% ผลผลิตโคนมที่ทำการศึกษาประกอบด้วย DMI, milk production, milk fat and milk protein percentage

Dry matter intake (DMI)

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า DMI เพิ่มขึ้นเมื่อเสริม CDDGS ในอาหารโคนม DMI เพิ่มขึ้นเมื่อระดับการเสริม CDDGS เพิ่มขึ้น และ DMI จะสูงสุดเมื่อเสริมที่ระดับ 20 – 30% คือโคนมที่ได้รับ CDDGS ที่ระดับนี้มี DMI มากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม CDDGS (control) 0.7 kg DM/d อย่างไรก็ตามโคที่ได้รับการเสริม CDDGS มากกว่า 30% จะมี DMI ใกล้เคียงกับโคในกลุ่ม control diet (ตารางที่ 2.4) โดยปกติแล้ว CDDGS มีความน่ากินสูง และรายงานการวิจัยสนับสนุนเพราะว่า DMI เพิ่มขึ้นเมื่อเสริม CDDGS ได้ถึง 20% ของ DM ในอาหารโคนม การลดลงของ DMI เมื่อเสริม

CDDGS ในระดับสูง อาจเนื่องมาจากใน CDDGS มีไขมันอยู่สูง โคนมที่ได้รับไขมันในระดับสูง (มากกว่า 5% ของอาหาร) ไขมันจะไปลดการย่อยได้ fiber ในกระเพาะหมัก เป็นผลให้ DMI ลดลง

Milk production

ผลผลิตน้ำนมของโคนมมีความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้ง (Curvilinear relationship) กับ ระดับการเสริม CDDGS ที่เพิ่มขึ้นในอาหาร (ตารางที่ 2.4) โคนมที่ได้รับอาหารที่มี CDDGS เป็น ส่วนประกอบ 4 – 30% ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน แต่มากกว่าโคนมที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เสริม CDDGS ประมาณ 0.4 kg/d เมื่อโคนมได้รับอาหารที่มีระดับของ CDDGS มากกว่า 30% ผลผลิต น้ำนมมีแนวโน้มลดลง โคเหล่านี้ให้ผลผลิตน้ำนมลดลง 0.8 kg/d เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่ไม่ได้ เสริม CDDGS สาเหตุที่ทำให้โคที่ได้รับ CDDGS มากกว่า 30% ให้ผลผลิตน้อยลง เกิดเนื่องจาก DMI ลดลง หมายถึงโคได้รับโภชนาการลดลงด้วย

ตารางที่ 2.4 ผลการเสริม CDDGS ในอาหาร โคนมต่อ Dry matter intake (DMI), milk yield, milk fat and milk protein content

Inclusion level (% of diet DM)	DMI (kg/d)	Milk yield (kg/d)	% Fat	% Protein
0	22.1 ^b	33.0 ^{ab}	3.39	2.95 ^a
4 – 10	23.7 ^a	33.4 ^a	3.43	2.96 ^a
10 – 20	23.4 ^{ab}	33.2 ^{ab}	3.41	2.94 ^a
20 – 30	22.8 ^{ab}	33.5 ^a	3.33	2.97 ^a
> 30	20.9 ^c	32.2 ^b	3.47	2.82 ^b
SEM	0.8	1.4	0.08	0.06

^{a, b, c} Values within a column followed by a different superscript differ ($P < 0.05$)

ที่มา: Kalscheur (2005)

Owen and Larson (1991) รายงานผลการศึกษาเปรียบเทียบ CDDGS และ soybean meal ในอาหารโครีดนมในช่วงต้นระยะให้นม (ตารางที่ 2.5) อาหารประกอบด้วย 50% ammoniated corn silage และ 50% concentrate ผลการทดลองสรุปได้ว่าผลผลิตน้ำนมของโคที่ได้รับอาหารที่มี CDDGS หรือ soybean meal เท่ากัน เมื่อ CDDGS เป็นส่วนประกอบในอาหาร 19% of the DM (low CP diet – 14.5%) แต่ผลผลิตน้ำนมลดลงเมื่อ CDDGS เป็นส่วนประกอบในอาหาร 36% of the DM (high CP diet – 18%) ผลผลิตน้ำนมที่ลดลงเมื่อเสริม CDDGS ในระดับสูงเนื่องจากการย่อยได้ที่ ลดลงและการขาดกรดอะมิโนไลซีน เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ลดลงเมื่อเสริม CDDGS ในระดับสูง ทั้ง

ในอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำหรือสูง เป็นเพราะการขาดกรดอะมิโนไลซีน รายงานการวิจัยโดย Grings et al. (1992) ใช้ CDDGS แทนข้าวโพดคั่วในอาหารโครีดนมในระยะต้นของการให้นม (ตารางที่ 2.5) อาหารโครีดนมประกอบด้วยถั่ว alfalfa และอาหารข้น 61% ที่มี CDDGS ที่ระดับ 0, 10.1, 20.8 และ 31.5% of the diet DM องค์ประกอบของโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริม CDDGS (13.9, 16.0, 18.1 และ 20.3%) ผลการทดลองสรุปได้ว่าผลผลิตน้ำนมและเปอร์เซ็นต์โปรตีนน้ำนมเพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ DMI ของทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ไชมันและ undegradable intake protein (UIP) เพิ่มขึ้น แต่ NFC intakes ลดลง เมื่อระดับ CDDGS ในอาหารเพิ่มขึ้น ผลประโยชน์จากการเพิ่มระดับโปรตีนจนถึงระดับ 18.1% โดยการเสริม CDDGS นั้นคือการเพิ่มขึ้นของการกินได้ CP, UIP และ essential amino acids

ในขณะที่การทดลองในโครีดนมในระยะกลางของการให้นม (mid lactation) Clark and Armentano (1993) ศึกษาผลของการใช้ CDDGS ทดแทนปริมาณ neutral detergent fiber (NDF) ในถั่ว alfalfa ต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม (ตารางที่ 2.5) ผลการทดลองพบว่าผลผลิตน้ำนมและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น

Powers et al. (1995) ทำการเปรียบเทียบผลผลิตโคนมในช่วงกลาง และช่วงต้นระยะให้นม โดยให้อาหารที่มีระดับโปรตีน 14 หรือ 18% อาหารดังกล่าวมีส่วนประกอบของ CDDGS จาก 3 แหล่งหรือกากถั่วเหลือง (soybean meal) และมีการเสริมเลือดป่น (blood meal) หรือไม่เสริมเลือดป่น ส่วนประกอบของ CDDGS ในอาหาร 14% CP เท่ากับ 13% of the DM ในขณะที่ในอาหาร 18% CP เท่ากับ 26% of the DM อาหารทุกสูตรประกอบด้วย corn silage 50% อาหารข้น 50% (DM basis) ผลการทดลองสรุปในตารางที่ 2.5 การกินได้ DMI ไม่มีผลกระทบจากแหล่งของ CDDGS และระดับโปรตีนในอาหาร ผลผลิตน้ำนมของโคที่ได้รับอาหาร CDDGS (1) หรือ CDDGS (2) สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลือง ในขณะที่โคที่ได้รับอาหาร CDDGS (3) ให้ผลผลิตน้ำนมเท่ากับโคที่ได้รับกากถั่วเหลือง ผลผลิตน้ำนมของโคที่ได้รับ CDDGS ที่ระดับ 26% จะสูงกว่าโคที่ได้รับ CDDGS ที่ระดับ 13% เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมของโคที่ได้รับ CDDGS (3) ลดลง

Staples et al. (1995) ประเมินผลการใช้ CDDGS ในอาหารต่อผลผลิตโคนมที่ได้รับอาหาร corn silage – based diets โดยมีระดับอาหารข้นต่ออาหารหยาบที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 70:30, 55:45 และ 40:60 และระดับการใช้ CDDGS ที่ 0 หรือ 20% in the dietary DM ผลการทดลองพบว่า DMI และผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามสัดส่วนของอาหารข้นที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลงเป็นเส้นตรง การใช้ CDDGS ทดแทนกากถั่วเหลืองและข้าวโพดคั่วจะให้ ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นเฉลี่ยวันละประมาณ 1.1 kg ประสิทธิภาพของ NDF ใน CDDGS ในการรักษาระดับเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเมื่อให้อาหารที่ขาดเชื้อไข และเมื่อเปรียบเทียบ

กับ NDF ใน corn silage จะอยู่ที่ประมาณ 68%

ตารางที่ 2.5 ผลการศึกษาเปรียบเทียบ CDDGS และ soybean meal ในอาหารโครีดนมในช่วงต้น
ระยะให้นม

Reference	CP	Conc.	CDDGS	Production measures			
				DMI	Milk	Fat	Protein
-----% of diet DM-----				-----kg/d-----	-----%-----		
Owen and Larson (1991)	Base forage – ammoniated corn silage						
	13.9	50	9	22.3	32.6	3.55	2.89
	14.6	50	0	23.7	33.9	3.65	2.99
	14.6	50	19	25.1	34.4	3.62	2.76
	18.7	50	0	24.0	34.2	3.68	3.03
	17.7	50	37	23.0	28.5	3.76	2.77
Grings et al. (1992)	Base forage – alfalfa						
	13.9	61	0	25.4	37.9		2.63
	16.0	61	10.1	26.4	40.3		2.66
	18.1	61	20.8	26.5	42.0		2.78
	20.3	61	31.6	26.5	42.1		2.80
Clark and Armentano (1993)	Base forage – alfalfa						
	19.9	56.4	0	22.9	30.7	3.30	2.98
	20.1	69.1	12.7	24.4	32.6	3.27	3.09
Powers et al. (1995)	Base forage – corn silage						
	14.0	50	0	24.1	26.6	3.38	3.14
	14.0	50	13 [1]	24.0	26.8	3.53	3.13
	14.0	50	13 [2]	23.8	27.7	3.45	3.15
	14.0	50	13 [3]	23.6	26.5	3.39	2.95
	18.0	50	0	23.5	27.4	3.49	3.17
	18.0	50	26 [1]	24.6	28.6	3.52	3.26
	18.0	50	26 [2]	24.2	28.3	3.34	3.12
	18.0	50	26 [3]	24.5	27.5	3.59	3.08
Staples et al. (1995)	Base forage – corn silage						
	16.1	40	0	21.2	25.5	3.78	
	16.5	55	0	23.3	26.9	3.60	
	15.8	70	0	24.6	27.9	3.44	
	16.4	40	20	21.0	27.4	3.69	
	16.5	55	20	23.1	27.6	3.64	
	16.4	70	20	23.5	29.0	3.57	

Number in [] indicates source of CDDGS

2.1.3 Milk composition

ผลของการเสริม CDDGS ในอาหารโคนมที่ระดับต่างๆ ต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันมีความผันแปร แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยทางสถิติ และจากข้อมูลจากงานวิจัยที่กล่าวถึง การเสริม CDDGS ที่ระดับต่างๆ ไม่ได้สนับสนุนทฤษฎีที่ว่า การเสริม CDDGS มีผลต่อการลดลงของเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม ในการจัดการการให้อาหารมีความจำเป็นที่จะต้องประกอบสูตรอาหารให้มีเยื่อใยจากอาหารหยาบเพียงพอเพื่อจะรักษาระดับการทำงานของกระเพาะหมัก CDDGS มีองค์ประกอบของ NDF ระหว่าง 28 – 44% แต่อย่างไรก็ตามเยื่อใยของ CDDGS ได้ผ่านกระบวนการย่อยให้มีขนาดเล็กลงและสามารถถูกย่อยได้เร็วในกระเพาะหมัก ดังนั้นเยื่อใยที่มีอยู่ใน CDDGS ไม่เหมาะสำหรับเป็น ruminally effective fiber และไม่สามารถใช้เทียบเคียงกับ forage fiber ประกอบกับ CDDGS มีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูง ทำให้ลดการย่อยได้เยื่อใยของอาหารหยาบในกระเพาะหมัก เป็นสาเหตุที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง อย่างไรก็ตาม อาจมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง

การเสริม CDDGS ที่ระดับ 0 – 30% ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม (ตารางที่ 2.4) อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมลดลงเฉลี่ย 0.13 เปอร์เซ็นต์เมื่อเสริม CDDGS ในอาหารมากกว่า 30% เปรียบเทียบกับกลุ่ม control

2.1.4 ระดับการใช้ CDDGS ที่เหมาะสม

งานวิจัยต่างๆ ที่ทดลองในโครีดนมแสดงให้เห็นชัดเจนว่าสามารถเสริม CDDGS ในอาหาร (ration) ได้ถึง 20% of DM ไม่พบปัญหาด้านความน่ากินอาหารของสัตว์ผู้ประกอบสูตรอาหารสามารถที่จะประกอบสูตรอาหารที่มี CDDGS อยู่ 20% ได้โดยง่ายโดยเฉพาะ การสร้างความสมดุลของโภชนาต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าจะประกอบสูตรอาหาร TMR ที่ประกอบด้วย 25% of DM as corn silage, 25% as alfalfa hay และ 50% concentrate mix สามารถใช้ CDDGS วัตถุดิบอาหารโปรตีน เช่น soybean meal และวัตถุดิบอาหารพลังงาน เช่น ground corn ได้บางส่วน หรือเกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตามควรใช้วัตถุดิบอาหารโปรตีนชนิดอื่นๆ ด้วย โดยเฉพาะวัตถุดิบอาหารโปรตีนที่มีส่วนประกอบของกรดอะมิโนไลซีนและ ธาตุฟอสฟอรัสอยู่สูง ทั้งนี้เพราะ CDDGS มีส่วนประกอบของกรดอะมิโนไลซีนและธาตุฟอสฟอรัสอยู่ต่ำ

Grings et al. (1992) พบว่าสามารถเสริม CDDGS ได้ถึง 31.6% of ration DM โดยไม่มีผลกระทบต่อ DMI และ ผลผลิตน้ำนม ในขณะที่ Schingoethe et al. (1999) เสริม CDDGS ในระดับมากกว่า 30% เล็กน้อย พบว่า DMI ลดลง แต่ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะใน CDDGS มี NE_L อยู่สูง (Birkelo et al., 2004) อย่างไรก็ตาม Hippen et al. (2003; 2004) ทำการเสริม CDDGS ในระดับสูงสุดที่ 40% of ration DM พบว่าอาจมีปัญหาเมื่อระดับการเสริม CDDGS มากกว่า 20 – 25% of ration DM เช่นเมื่อเสริม CDDGS มากกว่า 20% of diet DM จะทำให้ DMI

และผลผลิตน้ำนมลดลง Hippen et al. (2003) ทำนองเดียวกันเมื่อเสริม CDDGS ที่ระดับ 27 ถึง 40% จะทำให้ DMI และผลผลิตน้ำนมลดลง Hippen et al. (2004) อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ข้อมูล จาก 24 งานวิจัย Kalsheur (2005) พบว่าผลผลิตน้ำนมสูงสุด เมื่อระดับการเสริม CDDGS อยู่ระหว่าง 20 – 30% แต่เมื่อระดับการเสริมมากกว่า 30% จะทำให้ DMI และผลผลิตน้ำนมลดลง

2.1.5 ปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อการใช้ CDDGS ในอาหารโคนม

ระดับการเสริม CDDGS ในอาหารโคนมอาจไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ทำให้มีผลกระทบต่อผลผลิตโคนม ปัจจัยทางด้านอาหารอื่นๆ อาจมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม เมื่อทำการเสริม CDDGS ในอาหารโคนม อาทิ ชนิดของอาหารหยาบ (type of forage) อัตราส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น (roughage-concentrate ratio) ปริมาณไขมันที่มีอยู่ใน CDDGS ก่อนข้างสูง ความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารเมื่อทำการประกอบสูตรอาหาร ปัจจัยทางด้านอาหารเหล่านี้ได้รับการประเมินจากรายงาน 23 รายงาน ประกอบด้วย 96 ทริทเมนต์ ดังได้กล่าวมาแล้ว

2.1.5.1 ชนิดของอาหารหยาบ (type of forage)

การประเมินว่าชนิดของอาหารหยาบมีผลต่อผลผลิตสัตว์หรือไม่ โดยแบ่งกลุ่มตามอัตราส่วนของ corn silage ต่อ alfalfa silage or hay โดยมี 23 diets ประกอบด้วย 100% corn silage, 38 diets ประกอบด้วย 55 – 75% corn silage, 19 diets ประกอบด้วย 45 – 54% corn silage และ 16 diets ประกอบด้วย 100% alfalfa silage or hay (0% corn silage) เป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยทั่วไปแล้วสัดส่วนของอาหารหยาบนั้นขึ้นอยู่กับอาหารหยาบที่มีในแต่ละท้องถิ่นที่จะหาได้

งานวิจัยนี้พบว่าชนิดและสัดส่วนของอาหารหยาบ ไม่มีผลต่อ DMI ผลผลิตน้ำนมหรือเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม อย่างไรก็ตาม ชนิดของอาหารหยาบมีผลต่อเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม โคนมที่ได้รับอาหารที่มี 55 – 75% corn silage ให้น้ำนมที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงที่สุด (3.04%) ในขณะที่โคนมที่ได้รับอาหารที่มี 100% alfalfa (0% corn silage) ให้น้ำนมที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำสุด (2.72%) โคที่ได้รับอาหารที่มี 45 – 54% corn silage และ 100% corn silage ให้น้ำนมที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนระดับกลาง (2.98 และ 2.82% ตามลำดับ) การที่โคที่ได้รับส่วนผสมของ corn silage และ alfalfa ให้น้ำนมที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน สูงสุดนั้น จึงให้เห็นว่าการใช้แหล่งอาหารหยาบเพียงอย่างเดียว โคอาจได้รับ amino acids ไม่เพียงพอต่อการสร้างโปรตีนในน้ำนม

2.1.5.2 อัตราส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น (roughage-concentrate ratio)

การประเมินจาก 23 รายงานการวิจัย ประกอบด้วย 96 ทริทเมนต์ โดยแบ่งกลุ่มอัตราส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นเป็น 3 กลุ่ม คือ อาหารที่มีอาหารหยาบอยู่น้อยกว่า 50%, อาหารที่มีอาหารหยาบอยู่ 50% อาหารข้น 50% และอาหารที่มีอาหารหยาบอยู่มากกว่า 50% ผลการศึกษาสรุปได้ว่าสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นไม่มีผลต่อ DMI ผลผลิตน้ำนม และเปอร์เซ็นต์โปรตีน

น้ำมัน อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมันจะลดลง 0.36% เมื่อโคได้รับอาหาร หยาดน้อยกว่า 50%

ผลงานวิจัยนี้สนับสนุนสมมุติฐานที่ว่าถ้าโคนมได้รับอาหารหยาดไม่เพียงพอ จะได้รับ effective fiber ไม่เพียงพอด้วย ทำให้เป็นสาเหตุของการลดลงของเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมัน CDDGS ถึงแม้จะมีเชื้อใยสูง แต่มี particle size ขนาดเล็ก ไม่นับว่าเป็น effective fiber ฉะนั้น การเสริม CDDGS ในระดับที่สูง อาจทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมันลดลงได้ Cyriac et al. (2005) ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานนี้ ผลการทดลองสรุปได้ว่าถ้าลดสัดส่วนอาหารหยาดลงจาก 55% เป็น 34% เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมันจะลดลงจาก 3.34% เป็น 2.85% ถึงแม้ระดับ %NDF ในอาหารเท่ากัน ดังนั้นเมื่อจะใช้ CDDGS ในอาหารโคนมในระดับที่สูง ควรคำนึงถึงระดับของ effective fiber ในอาหารที่เพียงพอ

2.1.5.3 ปริมาณไขมันสูงที่มีอยู่ใน CDDGS (High oil content of CDDGS)

Corn oil ใน CDDGS จะมีองค์ประกอบของ linoleic acid อยู่ค่อนข้างสูง และเป็นไขมันไม่อิ่มตัว การที่โคนมได้รับน้ำมันพืช ซึ่งมีไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูง จะทำให้เกิดกระบวนการ biohydrogenation ไม่สมบูรณ์ ในกระเพาะหมัก เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมันลดลง อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ว่าการลดลงของเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมันที่ลดลงอาจเกิดจากปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างระดับของไขมันที่เสริมในอาหารและการขาด effective fiber ในอาหารเมื่อเสริม CDDGS

ความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารเมื่อทำการประกอบสูตรอาหาร

(Formulating diets on an amino acid balance basis)

การวิเคราะห์ถึงการประกอบสูตรอาหารที่คำนึงถึงความสมดุลของ กรด อะมิโนได้ทดสอบโดยการเสริม Rumen-protected lysine/methionine หรือวัตถุดิบที่มี lysine อยู่สูง เช่น เลือดป่น (blood meal) ลงในอาหาร เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเสริม lysine หรือวัตถุดิบที่มี lysine สูง อย่างไรก็ตามควรมีการทบทวนโดยเสริม lysine และเพิ่มระดับการเสริม CDDGS ให้มากขึ้น

2.2 การย่อยและการ Metabolism ของไขมันในน้ำนม

2.2.1 กระบวนการ Metabolism ของไขมัน

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องปริมาณไขมันจากอาหารไม่ได้ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรงของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จะย่อยและเปลี่ยนรูปไขมันให้เป็น VFA_s และ long-chain fatty acids ซึ่งจะถูกดูดซึมผ่านผนังเซลล์ของกระเพาะหมักและ long-chain fatty acids จะเปลี่ยนรูปแล้วจะได้รับการย่อยที่ลำไส้ซึ่งร่างกายนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป

2.2.2 กลไกการดูดซึมไขมัน

การดูดซึมไขมันจะเป็นแบบ simple diffusion โดย micelle จะเข้าไปใกล้ชิดกับพื้นผิวหน้าของ enterocyte และส่วนประกอบของไขมันจะแพร่ ผ่าน apical membrane หลังจากดูดซึมผ่าน apical membrane ไขมันจะถูกจับอย่างรวดเร็วโดยโมเลกุลของ carrier และขนส่งต่อภายในเซลล์ไปยัง endoplasmic reticulum และรวมกับ Cholesterol และ lipid ที่เข้ามาเรียกว่า Chylomicron มีรูปร่างกลมแกนเป็น triglycerides และ Cholesterol ester และมีพื้นผิวด้านนอกเป็น phospholipids และ Cholesterol Chylomicron จะมีขนาดใหญ่เกินที่จะผ่าน basement membrane ทำให้ไม่สามารถดูดซึมผ่านระบบเลือดได้ ดังนั้นจึงเดินทางผ่านเข้าไปในเส้นน้ำเหลืองที่ไปลำไส้ ลัก และถูกส่งไปยังเส้นเลือดดำระหว่างการดูดซึมที่ระบบน้ำเหลืองจะเปลี่ยนเป็นสภาวะนี้เรียกว่า lipemia จะเกิดขึ้นภายใน 1-2 ชั่วโมง

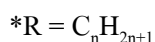
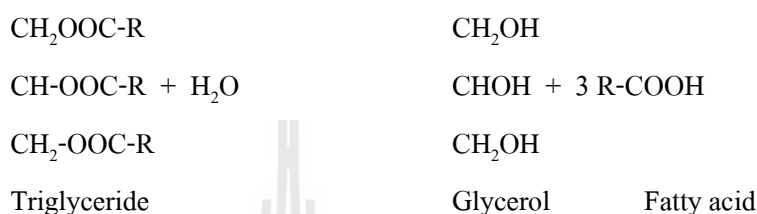
2.2.2.1 การย่อยไขมันและการดูดซึมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การย่อยอาหารไขมันในกระเพาะรูเมน การมีปริมาณไม่เกิน 5% เนื่องจากไขมันมีผลต่อการขัดขวางการย่อยจุลินทรีย์ ของอาหารเยื่อใย และส่งผลต่อให้ปริมาณการกินได้ (feed intake) ลดลง ซึ่งในโคนมหลังคลอดใหม่ และโคขุนมีความต้องการโภชนาสูง เพื่อเพิ่มผลผลิตจึงควรป้องกันโดยไม่ให้อายุที่กระเพาะรูเมน แต่ควรพยายามส่งผ่านไปยังกระเพาะ abomasum (กระเพาะจริง) ให้อายุและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ที่นั่นต่อไปไขมันที่พบในอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือไขมันที่สะสมในเมล็ดเป็นพวกไตรกลีเซอไรด์ ไขมันที่สะสมในใบเป็นพวกกาแลคโตไลปิด และไขมันกลุ่มอื่น ๆ เช่น waxes, chlorophyll, essential oils

หลังจากสัตว์กินอาหารเข้าไปแล้ว ไขมันที่กินเข้าไปจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงออกเป็น 3 กระบวนการ

1) Hydrolysis

การที่ไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์ให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน กระบวนการนี้เกิดขึ้นเร็วมากโดยอาศัยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่มี lipolytic activity



ไขมันที่อยู่ในรูปอื่นๆ เช่น Phospholipids หรือ galactolipid จะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นกลีเซอรอล กรดไขมัน กาแลคโตส หรือ ฟอสเฟต เป็นต้น ซึ่งกลีเซอรอลจะถูกเมแทโบไลต์ต่อไปด้วยแบคทีเรีย เช่น *Selenomonas ruminantium* ให้เป็นกรดโพรพิโอนิก เพื่อเป็นแหล่งของกลูโคสหรือถูกเมแทโบไลซ์ต่อไป

2) Hydrogenation

เป็นการเติมไฮโดรเจนเข้าไปในพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัว กระบวนการนี้จะเกิดหลังจากไขมันสัตว์กินเข้าไปแล้วถูกไฮโดรไลซ์ ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดเฉพาะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทำให้กรดไขมันที่สัตว์เคี้ยวเอื้องดูดซึมที่ลำไส้เล็กจะเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวทำให้ไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะเป็นแบบไขมันแข็ง (Hard fat) ซึ่งไขมันในร่างกายสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยกรดสเตียริก (stearic acid) ในรูปของ trans-isomer และ branched chain acid เป็นส่วนใหญ่

การเกิด hydrogenation ไม่ได้ขึ้นอยู่กับกรดไขมันไม่อิ่มตัวอย่างสม่ำเสมอ หรือเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ กรดไขมันที่มีพันธะคู่ 2 หรือ 3 อาจจะถูกไฮโดรจิเนต (hydrogenated) ทั้ง 2 หรือ 3 คู่ หรือเกิดเพียง 1 คู่ ซึ่งก็ยังคงจะเหลือกรดไขมันไม่อิ่มตัวบ้าง แต่โดยส่วนมากกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะถูกไฮโดรจิเนตทั้งหมด

3) Isomerisation

กรดไขมันไม่อิ่มตัวจากพืชมักจะอยู่ในรูป cis เป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อเข้าไปในกระเพาะหมักจะถูกเปลี่ยนไปในรูป trans ซึ่งเรียกว่า geometrical isomers

นอกจากนี้อาจเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ เรียกว่า positional isomers เป็นเหตุให้เกิดกรดไขมันที่ไม่ทราบชื่ออีกหลายตัว เช่น เมื่อให้กรดลิโนเลอิกถูก fermented ในกระเพาะหมักอาจเกิดกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 2 แห่ง คือ cis-9 และ trans-11 และกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 แห่ง คือที่ tran-11 ซึ่งกรดทั้งสองนี้ไม่ใช่ทั้งกรดลิโนเลนิก (พันธะคู่ที่ 9:10 และ 12:13) และกรดโอเลอิก (พันธะคู่ที่ตำแหน่ง 9:10 และเป็นแบบ cis) เป็นต้น จากการศึกษากรดไขมันในตัวอย่างที่เรียพบว่า กรดไขมัน C18:1 ในตัวอย่างที่มีถึง 23 geometrical และ positional isomers โดยส่วนใหญ่จะเป็น trans-11, cis-9 และ cis-11

2.2.2.2 การย่อยและการดูดซึมไขมันในลำไส้เล็ก

ไขมันที่มีคาร์บอนต่ำกว่า 12 ตัว จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก ส่วนไขมันที่มีคาร์บอนมากกว่า 12 ตัว ไม่มีการดูดซึมที่กระเพาะหมัก ประกอบกับจุลินทรีย์ใช้ประโยชน์จากกรดไขมันเหล่านี้ได้น้อย โดยกรดไขมันเหล่านี้จะผ่านมาถึงลำไส้เล็กซึ่ง ส่วนมากจะเป็นกรดสเตียริกและไขมันในตัวอย่างจุลินทรีย์ ไขมันดังกล่าวจะถูกดูดซึมส่วนกลางของลำไส้เล็กส่วนเจจูนัม (jejunum) และลำไส้เล็กส่วนปลาย (Ileum)

2.3 ความต้องการพลังงานในโคนม

ในสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการพลังงานในระดับหนึ่ง เพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทั้งเพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารสัตว์จึงมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงพลังงานเป็นอันดับแรก เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายสัตว์ ในทางผลิตสัตว์พลังงานเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในอาหารซึ่งโภชนาที่ให้พลังงานได้คือพวกที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบได้แก่ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ซึ่งกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น การกินอาหาร การดูดซึมสารอาหารและการเมแทบอลิซึมของร่างกายต่างต้องเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งสิ้น

2.3.1 หน่วยของพลังงาน

ระบบประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารและระบบประเมินความต้องการอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายระบบอาทิ NRC (National Research Council) ของสหรัฐอเมริกา (TDN และ Net Energy System), ARC (Agricultural Research Council) ของสหราชอาณาจักร (Metabolisable Energy System) สำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่อ้างอิงจาก NRC และ ARC ในสหรัฐอเมริกานิยมใช้หน่วยวัดพลังงานอยู่ 2 วิธี ด้วยกัน

2.3.1.1 โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrients, TDN) หมายถึง ผลรวมของ Digestible Protein, Fiber, Nitrogen-free-extract และ 2.25 (Fat)

$$\%TDN = \frac{\text{Digestible [CP + CF + NFE + (2.25 EE)]}}{\text{Feed DM Consumed}} \times 100$$

2.3.1.2 Calorie System เป็นระบบที่ใช้วัดค่าพลังงานในอาหารโดยที่ 1 cal หมายถึง ปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C (โดยปกติเพิ่มจาก 14.5°C เป็น 15.5°C) การวัดพลังงานความร้อนกระทำได้โดยการเครื่องมือที่เรียกว่า Bomb calorimeter เพื่อเผาผลาญอาหารที่ต้องการวัดค่าพลังงานในสภาพที่มี Oxygen

ประเทศในเครือจักรภพอังกฤษ(British Commonwealth) เช่น อังกฤษ นิวซีแลนด์ และออสเตรเลีย จะใช้ระบบการวัดพลังงานที่เรียกว่า British Metabolisable Energy (ME) ระบบพลังงานระบบนี้มีหน่วยวัดเป็น Joules, Kilojoules และ Megajoules การเทียบค่าพลังงานระหว่างระบบทั้งสองกระทำได้โดยประมาณดังนี้

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ joules}$$

$$1 \text{ kgTDN} = 3.82 \text{ Mcal ME} = 19 \text{ MJ DE} = 16 \text{ MJ ME} \sim 4 \text{ Mcal}$$

2.2.3 การจำแนกประเภทของพลังงาน (Partition of energy)

2.3.2.1 พลังงานรวม หรือ Gross energy (GE)

เป็นความเข้มข้นของพลังงานทั้งหมด ในอาหารหรือในเนื้อเยื่อของสัตว์มีชีวิต เรียกว่าส่วนประกอบของอาหารที่ให้พลังงานได้แก่ ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีพลังงานอยู่โดยประมาณเท่ากับ 39, 24 และ 17.5 MJ/kgDM ตามลำดับ GE จึงผันแปรตามส่วนประกอบของเนื้อเยื่อต่าง ๆ แต่โดยทั่วไปแล้วอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมี GE อยู่ในช่วง 18-19 MJ/kgDM เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปส่วนของ GE เพียงบางส่วนเท่านั้นจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อและสร้างผลผลิต ทั้งนี้เป็นเพราะในระหว่างการเกิดขบวนการย่อย (Digestion) และเมแทบอลิซึม (Metabolism) ภายในร่างกายจะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป

2.3.2.2 พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE)

เป็นส่วนแตกต่างระหว่าง GE ที่สัตว์กินเข้าไปกับพลังงานในอุจจาระ (Faecal energy, FE) พลังงานในอุจจาระเป็นส่วนหนึ่งของ GE ในอาหารที่ไม่ถูกย่อยการวัดพลังงานในอุจจาระวัดได้โดยการวัดปริมาณอุจจาระที่ขับถ่ายออกมา (kg DM) และวัดความเข้มข้นของพลังงานในอุจจาระโดยใช้ Bomb calorimeter กล่าวคือ

$$\text{GE Intake} - \text{Faecal energy output} = \text{DE Intake}$$

$$\text{หรือ DE} = \text{GE} - \text{Faecal Energy}$$

2.3.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolisable energy, ME)

เป็นส่วนหนึ่งของ DE ที่ไม่ปรากฏในปัสสาวะและแก๊สมีเทน (ซึ่งผลิตขึ้นระหว่างการหมักย่อยในกระเพาะหมัก) กล่าวคือ DE เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสลายตัว ขณะเดียวกันจะมีพลังงานบางส่วนถูกขับออกจากร่างกายโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ได้แก่พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ (Urinary energy, UE) และพลังงานที่ขับออกในรูปแก๊ส (Gaseous หรือ Methane energy)

$$\text{DE Intake} - (\text{Urinary energy} + \text{Methane energy}) = \text{ME Intake}$$

ฉะนั้น ME intake สามารถคำนวณได้โดยการวัดค่า GE ในอาหารและวัดค่าพลังงานในอุจจาระปัสสาวะ และ Methane สำหรับ UE (Urinary energy) และ ME โดยปกติจะมีค่าเป็นสัดส่วนค่อนข้างคงที่กับ DE (~18%) ฉะนั้นจึงสามารถประมาณค่า ME ได้ดังนี้

$$\text{ME} = 0.82\text{DE}$$

ความเข้มข้นของพลังงาน ME ที่ประกอบอยู่ใน GE มีชื่อเรียกว่า Metabolisability (q) หรือ หมายถึง สัดส่วนของ ME ใน GE ของอาหารสัตว์

$$q = \text{ME/GE}$$

2.3.2.4 พลังงานสุทธิ (Net energy)

ในสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความต้องการพลังงานระดับหนึ่ง เพื่อการดำรงชีพ (Requirement for maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (Requirement for growth) เพื่อสร้างผลผลิต (Requirement for production) และเพื่อการสืบพันธุ์ (Requirement for reproduction) โดยพลังงานที่กล่าวถึงนั้นจะเป็นพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ (Metabolisable energy, ME) และพลังงานสุทธิ (Net energy, NE) ที่สัตว์ต้องการเพื่อการดังกล่าวข้างต้น

NRC (2001) ได้ทำการรวบรวมสมการที่ใช้ในการคำนวณความต้องการพลังงานในรูปของ NE ทั้งหมดต่อวัน (Mcal/day) ไว้ดังนี้

เมื่อ	NE_{LR}	=	$NE_{LM} + NE_{LG} + NE_{LL}$
โดย	NE_{LR} (Mcal/kg)	=	Net energy lactation requirement
	NE_{LM} (Mcal/kg)	=	Net energy lactation requirement for maintenance
	NE_{LG} (Mcal/kg)	=	Net energy lactation requirement for growth
	NE_{LL} (Mcal/kg)	=	Net energy lactation requirement for lactation

1) ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Net energy lactation requirement for maintenance)

ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพขึ้นอยู่กับกิจกรรมของตัวสัตว์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดรูปร่างและพันธุ์การหา NE_{LM} ของโคนมที่เห็นสามารถหาได้จากสมการ $0.073LW^{0.75}$ (NRC, 1988) อย่างไรก็ตามในสมการดังกล่าวได้มีการเผื่อในกิจกรรมบางส่วนอีก 10% ซึ่งจะได้สมการที่ใช้ในการหา NE_{LM} คือ $0.080LW^{0.75}$ (NRC, 1988) มีการศึกษากับการเลี้ยงโคนมโดยการปล่อยเลี้ยงในทุ่งหญ้าโดยการเพิ่มระยะทางในการเดินของโคนมและพบว่าในทุ่งหญ้าที่มีหญ้าไม่สมบูรณ์อาจจะมีการเผื่อในการคำนวณความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพจาก 10% เป็น 20% ก็ได้ นอกจากกิจกรรมของตัวโคนมเองแล้วสิ่งแวดล้อมรอบตัวของโคนมนั้นก็มีผลต่อความต้องการพลังงานด้วยเช่นกัน

ในขณะที่โคสาวนั้นจะมีสมการในการหาความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ คือ

$$NE_{LM} = 0.086LW^{0.75} \quad (\text{NRC, 1988})$$

2) ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (Net energy lactation requirement for growth)

ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตในการเจริญเติบโตของสัตว์นั้น คำนวณได้โดยชัดเจนคือน้ำหนักตัวของตัวสัตว์ Moe and Tyrrell (1974) พบว่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม นั้นมีค่าพลังงานเท่ากับ 6 Mcal ซึ่ง Moe, Tyrrell, and Flatt (1971) ได้ประมาณการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโตไว้ว่าการสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัม นั้นจะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากน้ำหนักตัว 82% ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวที่ลดลง 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะการให้นมนั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ $(6.00)(0.82)$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.92 Mcal ในขณะที่การเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมนั้นในระยะการให้นมประสิทธิภาพของการใช้ ME ในการสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 64% และประสิทธิภาพของการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้น มีค่าเท่ากับ 75% ดังนั้นในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ $(6.00)(0.64 / 0.75)$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.12 Mcal ซึ่งการคำนวณความต้องการสำหรับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมนั้น เพื่อที่จะช่วยในการป้องกันการขาดพลังงานของโคนมในระยะให้นม ในระยะต่างๆ (NRC, 1988) ในขณะที่โคสาวจะมีความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

$$NE_{LG} = 0.045LW^{0.75} (LWG/1,000)^{1.119} + 1.0LWG/1,000$$

อย่างไรก็ตาม NRC (2001) ได้ปรับปรุงการประเมินความต้องการพลังงาน โดยยึดหลักการที่ว่าดัชนีบ่งชี้ถึงความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตควรจะเป็น Body condition score มากกว่าการใช้น้ำหนักตัวตาม NRC (1988) ฉะนั้นจึงควรใช้สมการดังต่อไปนี้ในการประเมินความต้องการพลังงานเพื่อการเพิ่มหรือลดน้ำหนักตัว

$$NE_{LGain} = \text{Reserve energy} \times (0.64/0.75)$$

$$NE_{LLoss} = \text{Reserve energy} \times (0.82)$$

ทั้งนี้เพราะ

- ประสิทธิภาพของการใช้ NE ในการสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 64%
- ประสิทธิภาพของการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้นมีค่าเท่ากับ 75%
- การสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัมจะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากน้ำหนักตัว 82%

เมื่อ

Reserve energy = (proportion empty body fat x 9.4) + (proportion of empty body protein x 5.55)

Proportion empty body fat = $0.037683 \times \text{BCS}$ (9)

Proportion of empty body protein = $0.200886 - 0.0066762 \times \text{BCS}$ (9)

$\text{BCS (9)} = ((\text{dairy BCS} - 1) \times 2) + 1$

3) ความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนม (Net energy lactation requirement for lactation)

ในการคำนวณพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนมจะใช้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม เช่น เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม และเปอร์เซ็นต์แลคโตสในน้ำนม สำหรับประเมิน NRC (1988) ใช้สมการคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม ดังนี้ คือ $0.3512 + 0.0962\% \text{Fat}$

นอกจากนี้ยังสามารถใช้สมการอื่น ๆ ที่ดัดแปลงจาก Tyrell and Reid (1965) ซึ่งแนะนำไว้ใน NRC (2001) ดังนี้

ถ้าเราวิเคราะห์เฉพาะเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมใช้สมการต่อไปนี้

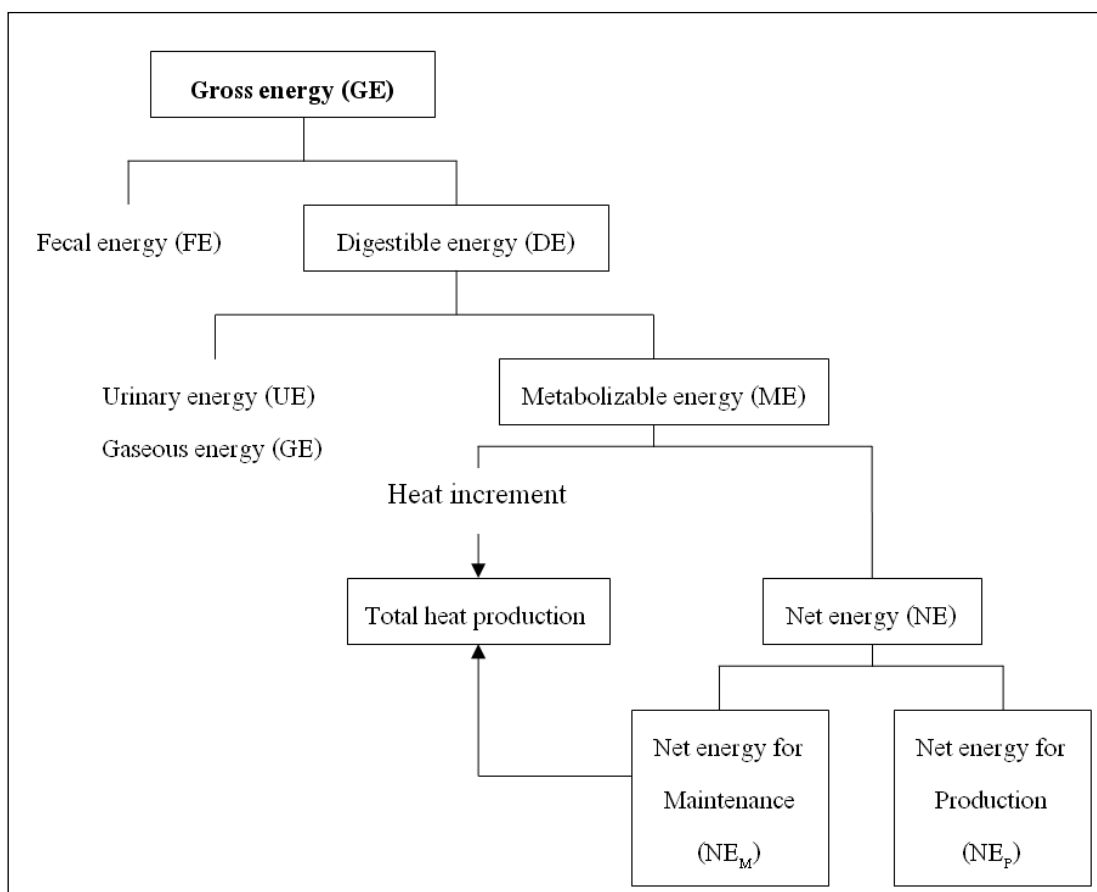
$$\text{NE}_{\text{LL}} (\text{Mcal/kg of Milk}) = 0.360 + (0.0969 \times \% \text{Fat})$$

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีน

$$\text{NE}_{\text{LL}} (\text{Mcal/kg of Milk}) = (0.0929 \times \% \text{Fat}) + (0.0547 \times \% \text{Protein}) + 0.192$$

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมัน, โปรตีน และแลคโตส

$$\text{NE}_{\text{LL}} (\text{Mcal/kg of Milk}) = (0.0929 \times \% \text{Fat}) + (0.0547 \times \% \text{Prot.}) + (0.0395 \times \% \text{Lac})$$



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่างๆ

ที่มา: บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2541

2.2.4 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001)

ถึงแม้ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยากต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมากตลอดจนต้องใช้เครื่องมือที่ยังยากซับซ้อน ประเทศต่าง ๆ จึงคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณโดยใช้การประเมินค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่น ในประเทศเยอรมันคำนวณค่า NE_L จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจาก TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ ในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลายบางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้เฉพาะกับอาหารหยาบ จนกระทั่ง Weiss, Conrad, and Pierre (1992) ทำการปรับปรุงสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าทางพลังงานกับอาหารหลายชนิดรวมทั้ง By-products และ Heat-damaged forages โดยหลักการของสมการนี้ยึดหลักที่ว่าโภชนาชนิดใดที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณด้วย ซึ่งโภชนาดังกล่าวประกอบด้วย โปรตีนหยาบ ไขมัน NFC และ NDF การคำนวณต้องอาศัย True digestibility (td)

ของโภชนะนั้น ๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า NE_{LL} ได้โดยอาศัยสมการต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

การประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์ตามระบบ NRC (2001) คือ ส่วนประกอบของโภชนาใด ๆ ในอาหารที่ให้พลังงานต้องนำมาคำนวณทั้งหมดโดยคำนวณออกมาในรูปของโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ดังสมการ

$$TDN_{IX} (\%) = tdNFC + tdCP + (tdFA \times 2.25) + tdNDF - 7$$

เมื่อ td = Truly digestible

2.2.4.1 พลังงานจาก NFC

โดยปกติ NFC เป็น Uniform feed fraction ที่มีค่า td ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหาร ที่ระดับ Maintenance NFC คำนวณได้โดยการหักลบค่าเก่า โปรตีนหยาบ NDF_N และไขมัน จาก 100 ที่ต้องใช้ ค่า NDF_N แทนค่า NDF ก็เพื่อไม่ให้โปรตีนหยาบ ถูกหักออกซ้ำกันถึง 2 ครั้งมิฉะนั้นจะทำให้ค่า NFC ต่ำไป การคำนวณพลังงานจาก NFC คำนวณได้ดังสมการ

$$tdNFC = 0.98 (100 - [(NDF - NDICP) + CP + EE + Ash]) \times PAF \text{ หรือ}$$

$$tdNFC = 0.98 (100 - [(NDFN + CP + EE + Ash]) \times PAF$$

$$NDF_N = NDF - NDICP$$

$$NDICP = NDIN \times 6.25$$

เมื่อ

NFC = Non fiber carbohydrate

NDF = Neutral detergent fiber

NDIN = Neutral detergent insoluble nitrogen

PAF = Processing adjustment factor

ตารางที่ 2.6 กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) สำหรับ NFC
(NRC, 2001)

Feedstuff	PAF
Bakery waste	1.04
Barley grain, rolled	1.04
Bread	1.04
Cereal meal	1.04
Chocolate meal	1.04
Cookie meal	1.04
Corn grain, cracked dry	0.95
Corn grain, ground	1.00
Corn grain, ground high moisture	1.04
Corn and cob meal, ground high moisture	1.04
Corn grain, steam flaked	1.04
Corn silage, normal	0.94
Corn silage, mature	0.87
Molasses	1.04
Oats grain	1.04
Sorghum grain, dry rolled	0.92
Sorghum grain, steam flaked	1.04
Wheat grain, rolled	1.04
All other feeds	1.00

For feeds not shown PAF = 1.0

2.3.3.2 พลังงานจากโปรตีน

โปรตีนเป็น Uniform feed fraction เพราะค่า True digestibility (td) ของ Crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ในพืชมีค่าผันแปรระหว่าง 0.9-1.0 เฉลี่ย 0.93 สำหรับอาหารชั้นที่ไม่ได้ผ่านความร้อน (Unheated concentrate) ค่า tdCP จะมีค่าประมาณ 1.0 (Fonnesbeck, Wardeh, and Harris, 1984) อาหารที่ถูกความร้อนค่า tdCP จะมีค่าลดลง เนื่องจากการย่อยได้ของ CP และอัตราการถูกทำลายด้วยความร้อน (Heat damage) มีความสัมพันธ์กับ Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ดังนั้นจึงคำนวณค่า tdCP ได้จากค่า ADIN แต่เนื่องจากความสัมพันธ์นี้ในอาหารชั้นและอาหารหยาบมีไม่เท่ากันจึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกันดังนี้

Truly digestible CP for forages (tdCPf)

$$\text{tdCPf} = \text{CP} \times \exp^{-1.2 \times (\text{ADICP}/\text{CP})}$$

Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)

$$\text{tdCPc} = [1 - (0.4 \times (\text{ADICP}/\text{CP}))] \times \text{CP}$$

เมื่อ ADICP = Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) \times 6.25

2.3.3.3 พลังงานจากไขมัน

ค่า Ether extract (EE) ในอาหารประกอบด้วยกรดไขมัน (รวมทั้ง Triglycerides) Waxes, Pigments และอื่นๆ อีกเล็กน้อย Palmquist (1991) แนะนำว่าในการหาปริมาณไขมันควรวิเคราะห์ Fatty acids (FA) มากกว่าการวิเคราะห์ Ether extract (EE) ทั้งนี้เนื่องจาก FA เป็นค่าที่ Uniform ในขณะที่ EE ไม่ uniform แต่เครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หา EE ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จึงยังคงนิยมวิเคราะห์ค่า EE อยู่ อย่างไรก็ตามการคำนวณหาค่า FA สามารถทำได้โดยการคำนวณจากค่า EE ทั้งนี้เพราะไขมันที่ไม่ใช่ FA สามารถทำได้โดยการคำนวณจากค่า EE ทั้งนี้เพราะไขมันที่ไม่ใช่ FA มีประมาณ 1.0% ของ DM ในอาหารเท่านั้น

$$\text{FA} = \text{EE} - 1.0 \quad (\text{Allen, 2000})$$

$$\text{tdFA} = \text{FA} \quad \text{แต่ถ้าในกรณีที่ } \text{EE} < 1, \text{ FA จะมีค่าเท่ากับ } 0$$

2.3.3.4 พลังงานจาก NDF

NDF เป็นค่าที่ไม่ Uniform แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (Potential digestible NDF หรือ pdNDF) เป็นค่าที่ uniform โดยมีการย่อยได้เท่ากับ 1.0 นอกจากนี้ Conrad, Weiss, Odwongo, and Shockey (1984) ได้สร้างสมการประเมินค่า pdNDF โดยอาศัย Lignified surface area ทั้งนี้เพราะ Lignin ย่อยไม่ได้จึงควรนำมาหักลบออกจาก NDF เพื่อให้ได้ค่า Lignin-free NDF นอกจากนี้ Lignin ยังไปขัดขวางการย่อยได้ของ Cellulose และ Hemicellulose จึงควรคำนวณหาค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย Lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนั้นค่า pdNDF คำนวณได้จากสมการ

$$\text{pdNDF} = (\text{NDF} - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin}/\text{NDF})0.667]$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % ของ DM และ Lignin วิเคราะห์โดยวิธี ADF-Sulphuric สมการข้างต้นนี้ใช้ได้กับพืชแทบทุกชนิด แต่ใน By-product หลายชนิด อาจมีส่วนของ CP ปนมาในค่า NDF มากทำให้มีค่า NDF สูงเกินไปดังนั้นจึงควรวิเคราะห์ Neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) ด้วยเพื่อคำนวณหาค่า NDF ที่ปราศจาก N แล้ว (NDF_N) ดังนี้

$$\text{NDF}_N = \text{NDF} - \text{NDICP}$$

$$\text{ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น \% และ NDICP} = \text{NDIN} \times 6.25$$

พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ Maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75 ฉะนั้น Truly digestible NDF (tdNDF) จะมีค่าดังสมการ

$$\text{tdNDF} = 0.75 (\text{NDF}_N - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin}/\text{NDF}_N)0.667]$$

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อาหารสัตว์ ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากสัตว์ เช่น โปรตีนจากสัตว์ ซึ่งจะไม่มีส่วนของ Structural carbohydrates แต่จะมีส่วนของ Neutral detergent insoluble residue แต่ไม่ใช่เป็นส่วนของ Cellulose, Hemicelluloses หรือ Lignin ดังนั้นสมการข้างต้นจะใช้ไม่ได้ในกรณีนี้ต้องใช้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{TDN}_{\text{IX}} &= (\text{CPdigest} \times \text{CP}) + (\text{FA} \times 2.25) + 0.98(100 - \text{CP} - \text{Ash} - \text{EE}) - 7 \\ \text{เมื่อ} \quad \text{CP digest} &= \text{estimated true digestibility of CP} \end{aligned}$$

ตารางที่ 2.7 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN_{IX} สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ (NRC, 2001)

Feedstuff	True digestibility
Blood meal, batch dried	0.75
Blood meal, ring dried	0.86
Hydrolyzed feather meal	0.78
Hydrolyzed feather meal with viscera	0.81
Fish meal (Menhaden)	0.94
Fish meal (Anchovy)	0.95
Meat and bone meal	0.80
Meat meal	0.92
Whey	1.00

เช่นเดียวกันกับกรณีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ถ้าเป็นอาหารสัตว์จำพวกไขมันจะคำนวณค่า TDN_{IX} จากการวัดค่า Fatty acid digestibility ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.8 ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (Assumed 8% increase in digestibility compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จำพวกไขมัน (NRC, 2001)

Fat	Fat type	True digestibility
Calcium salts of fatty acids	Fatty acids	0.86
Hydrolyzed tallow fatty acids	Fatty acids	0.79
Partially hydrogenated tallow	Fat plus glycerol	0.43
Tallow	Fat plus glycerol	0.68
Vegetable oil	Fat plus glycerol	0.86

สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

$$TDN_{IX} (\%) = (EE \times 0.1) + [FA \text{ digest} \times (EE \times 0.9) \times 2.25]$$

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

$$TDN_{IX} (\%) = (EE \times FA \text{ digest}) \times 2.25$$

2.3.3.5 การประมาณค่า DE

1) การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

Crampton, Lloy, and Mackay (1957) และ Swift (1957) คำนวณค่า GE value of TDN เท่ากับ 4.409 Mcal/kg อย่างไรก็ตามโภชนาแต่ละชนิดในอาหารมีค่า Heat of combustion ที่แตกต่างกัน เช่น 4.2 Mcal/kg for carbohydrate, 5.6 Mcal/kg for CP, 9.4 Mcal/kg for fatty acid และ 4.3 Mcal/kg for glycerol (Manynard, Loosli, Hintz, and Warner, 1979)

จากการที่ GE value of TDN ในอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN มากกว่า 4.409 Mcal/kg ในทางกลับกัน อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN น้อยกว่า 4.409 Mcal/kg ดังนั้นการคำนวณค่า DE จาก $0.4409 \times \text{TDN} (\%)$ ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้น ปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว โดย NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก Estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย Heat of combustion ของโภชนาเหล่านั้น ๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก Apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN จากโภชนาต่างๆ ใช้ค่า True digestibility ดังนั้นต้องใช้ค่า Metabolic fecal energy มาทำการปรับเมื่อต้องการคำนวณค่า DE จาก TDN โดยทั่วไปค่า Heat of combustion ของ Metabolic fecal TDN จะประมาณเท่ากับ 4.4 Mcal/kg ดังนั้น Metabolic fecal DE = $7 \times 0.044 = 0.3$ Mcal/kg

ดังนั้นสามารถคำนวณ DE_{IX} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

สำหรับอาหารสัตว์ทั่วไป

$$DE_{IX} (\text{Mcal/kg}) = [(tdNFC/100) \times 4.2] + [(tdNDF/100) \times 4.2] + [(tdCP/100) \times 5.6] + [(FA/100) \times 9.4] - 0.3$$

สำหรับอาหารโปรตีนจากสัตว์

$$DE_{IX} (\text{Mcal/kg}) = [(tdNFC/100) \times 4.2] + [(tdCP/100) \times 5.6] + [(FA/100) \times 9.4] - 0.3$$

สำหรับอาหารไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{IX} (\text{Mcal/kg}) = [9.4 \times (FAdigest \times 0.9 \times (EE/100))] + [4.3 \times 0.1 \times (EE/100)]$$

สำหรับอาหารไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{IX} (\text{Mcal/kg}) = [9.4 \times (FAdigest \times 0.9 \times (EE/100))]$$

tdNFC, tdNDF, tdCP และ FA มีหน่วยเป็น %

2) การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การย่อยได้อาหารของโคนมจะลดลง เมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น (Tyrrell and Moe, 1975) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานของอาหารนั้น ๆ ลดลงเมื่อการกินได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในโครีดนม ที่ให้น้ำนมมาก ๆ อย่างเช่นในปัจจุบัน ซึ่งอาจกินอาหารได้มากถึง 4 เท่าของการกินได้ที่ระดับ Maintenance การลดลงของ Digestibility เมื่อ intake เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับ Digestibility of diet at maintenance (Wagner and Loosli, 1967) เมื่อการกินได้ของอาหารเพิ่มขึ้น อาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance สูงจะมีอัตราการลดลงของ Digestibility มากกว่าอาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance ตาม NRC (1988) ใช้ค่าคงที่ 4% ในการปรับ Energy value at 1X to 3X maintenance ถ้าใช้วิธีการเดิมนี้นี้ในการคำนวณ อาหารที่มี 75% TDN_{1X} จะมีค่า Discount 3% unitmultiple of 1X ในขณะที่ อาหารที่มี 60% TDN_{1X} จะมีค่า Discount เท่ากับ 2.4% ถ้าอาหารมีค่า TDN_{1X} เท่ากับ หรือน้อยกว่า 60% ค่า Discount จะมีค่าค่อนข้างน้อย NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้ในการคำนวณ % Discount

$$\text{TDN percentage unit decline} = 0.18 \text{ TDN}_{1X} - 10.3 \quad (r^2 = 0.85)$$

ทั้งนี้เนื่องจากในการคำนวณค่า ME และ NE_L ใช้ค่า DE ไม่ได้ใช้ค่า TDN ฉะนั้นการคำนวณค่า DE_p จึงต้องใช้ Discount factor เป็นตัวคูณ

$$\text{Discount} = [(\text{TDN}_{1X} - [(0.18 \times \text{TDN}_{1X}) - 10.3]) \times \text{Intake}] / \text{TDN}_{1X}$$

หน่วยของ TDN_{1X} เป็น % of DM และ Intake หมายถึงจำนวนเท่าของการกินได้ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการกินได้ที่ระดับ Maintenance เช่น การกินได้เท่ากับ 3X maintenance, Intake above maintenance = 2

ตัวอย่างเช่น โครีดนมกินอาหารที่มี 74%TDN_{1X} ได้เป็น 3X maintenance ฉะนั้น Digestibility ควรจะเท่ากับ 0.918 เท่า ของ Digestibility ที่ 1X maintenance

3) การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การประมาณค่า ME at production level of intake (ME_p) นั้นคำนวณจากค่า DE_p การคำนวณค่า ME จาก DE ใน NRC (1988) ใช้สมการ

$$ME \text{ (Mcal/kg)} = (1.01 \times DE) - 0.45$$

อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวประเมินจากอาหารที่มีไขมันประมาณ 3% และเนื่องจากประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE จากไขมันเป็น ME นั้น มีค่าเกือบ 100 (Andrews, Tyrrell, Reynolds, and Erdman, 1991; Romo, Casper, Erdman, and Teter, 1996) ดังนั้นสมการข้างต้นจะประมาณค่า ME ของอาหารที่มีไขมันสูงต่ำเกินไป NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้แทน

$$ME_p = [1.01 \times (DE_p) - 0.45] + [0.0046 \times (EE - 3)]$$

เมื่อ DE_p มีหน่วยเป็น Mcal/kg และ EE มีหน่วยเป็น % of DM

ME_p ของอาหารที่ไขมันมากกว่า 3% จะเพิ่มขึ้น 0.0046 ทุก ๆ % unit increase in EE above 3% ในกรณีที่อาหารมีไขมันเท่ากับหรือน้อยกว่า 3% ให้ใช้สมการเดิมที่แนะนำใน NRC (1988)

สำหรับ Fat supplements, $ME_p \text{ (Mcal/kg)} = DE_p \text{ (Mcal/kg)}$

2.3.3.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L)

1) การประมาณค่า NE_L ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

NRC (1988) ใช้สมการ $NE_L \text{ (Mcal/kg)} = 0.0245 \times (\%TDN) - 0.12$ ในการประมาณค่า NE_L สมการนี้ได้ถูกวิจารณ์อย่างมากเพราะถ้าอาหารมี TDN 40% ($DE = 1.76 \text{ Mcal/kg}$) มีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE เป็น NE_{Lix} เท่ากับ 0.49 แต่ถ้ามี TDN 90% ($DE = 3.97 \text{ Mcal/kg}$) ประสิทธิภาพจะเป็น 0.53 ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวการประมาณค่า NE_{Lp} จาก ME_p NRC (2001) เลือกใช้สมการที่เสนอโดย Moe and Tyrrell (1974) แทนสมการเดิมที่ได้แนะนำไว้ใน NRC (1988)

$$NE_{Lp} = [0.703 \times ME_p \text{ (Mcal/kg)}] - 0.19 \text{ (Moe and Tyrrell, 1974)}$$

สมการนี้ใช้ในกรณีที่อาหารมีไขมันเท่ากับหรือน้อยกว่า 3% ถ้าอาหารมีไขมันมากกว่า 3% จะต้องทำการปรับค่า metabolic efficiency of fat โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพการเปลี่ยน ME จากไขมันเป็น NE_L จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 (Andrews et al., 1991; Romo et al., 1996) เช่นเดียวกับการปรับค่า ME_p ของไขมันที่กล่าวมาแล้ว เพื่อชดเชยการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการเปลี่ยน ME จากไขมันเป็น NE_L จะได้ค่าเท่ากับ $[(0.097 \times ME_p) + 0.19]/97$ ในการเพิ่ม NE_L ต่อ % unit increase in feed EE content above 3% ฉะนั้นสมการที่ใช้คือ

$$NE_{Lp} = [(0.703 \times ME_p \text{ (Mcal/kg)}) - 0.19] + \{[(0.097 \times ME_p + 0.19)/97] \times [EE - 3]\}$$

เมื่อ ME_p มีหน่วยเป็น Mcal/kg และ EE มีหน่วยเป็น % of DM

สำหรับ fat supplements

$$NE_{Lp} \text{ (Mcal/kg)} = 0.8 \times ME_p \text{ (Mcal/kg)}$$

2) การประมาณค่า Net Energy of Feeds for Maintenance and Gain

สมการในการประมาณค่า NE_M และ NE_G จะใช้สมการที่เสนอโดย Garrett (1980) สำหรับโคเนื้อที่แนะนำไว้ใน NRC (1996) NE_M และ NE_G ในอาหารนี้เป็นการประมาณที่ระดับการกินได้อาหาร 3X maintenance และคำนวณค่า ME เพื่อใช้ในสมการจากการคูณ DE_{1x} (ตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้) ด้วย 0.82 แทนค่า ME ตามสมการข้างล่างก็จะได้ค่า NE_M และ NE_G

$$NE_M = 1.37 ME - 0.138 ME^2 + 0.0105 ME^3 - 1.12$$

$$NE_G = 1.42 ME - 0.174 ME^2 + 0.0122 ME^3 - 1.65$$

เมื่อ ME, NE_M และ NE_G มีหน่วยเป็น Mcal/kg

อย่างไรก็ตามสมการข้างต้นไม่เหมาะสำหรับใช้คำนวณค่า NE_M และ NE_G ของ Fat supplements ควรใช้ $ME_p = DE_p$ และใช้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน ME เป็น NE_L เท่ากับ 0.80 เพื่อเปลี่ยน ME เป็น NE_M แต่ในการเปลี่ยน ME เป็น NE_G ใช้ค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเท่ากับ 0.55

2.3.4 ความต้องการโปรตีนในโคนม

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของร่างกายและเพื่อการเจริญเติบโตการให้ผลผลิตในรูปของเนื้อและนม ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่างๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตและความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม

2.3.4.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร

การคำนวณโปรตีนในอาหารจะสามารถทำได้โดยการหาประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารโปรตีนจากวิธีการ Nylon bag technique

2.3.4.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม

NRC (2001) ได้ปรับเปลี่ยนการประเมินความต้องการโปรตีนของโคนมโดยนำเสนอใหม่ในรูปของ Metabolizable protein (MP_R) ดังสมการ

$$MP_R = MP_M + MP_G + MP_L$$

โดย MP_R (g/d) = Metabolizable protein requirement

MP_M (g/d) = Metabolizable protein requirement for maintenance

MP_G (g/d) = Metabolizable protein requirement for growth

MP_L (g/d) = Metabolizable protein requirement for lactation

1) Metabolizable Protein requirements for maintenance (MP_M)

$$MP_M (g) = MP_{UM} + MP_{SH} + MP_{MFP}$$

MP_U คือ ความต้องการ MP สำหรับ Endogenous urinary protein (UPN)

$$MP_U = UPN/0.67$$

$$UPN (g/day) = 2.75 \times (\text{Live weight})^{0.5}$$

$$MP_U = 4.1 \times (\text{Live weight})^{0.5}$$

MP_{SH} คือ ความต้องการ MP สำหรับ Scurf and hair (SPN; skin, skin secretion, hair)

$$MP_{SH} = SPN/0.67$$

$$SPN = 0.2 \times (\text{Live weight})^{0.60}$$

$$MP_{SH} = 0.3 \times (\text{Live weight})^{0.60}$$

MP_{MFP} คือ ความต้องการ MP สำหรับ metabolic fecal protein

$$MP_{MFP} = MFP - (\text{bacteria} + \text{bacterial debris in cecum, large intestine} + \text{keratinized cell} + \text{others})$$

$$MFP \text{ (g/day)} = 30 \times \text{Dry Matter Intake (kg.)}$$

$$MP_{MFP} = [(DMI \times 30) - 0.50((\text{Bact MP}/0.8) - \text{Bact MP})] + \text{Endogenous MP}/0.67$$

2) Metabolizable Protein requirements for growth (MP_G)

เมื่อ

$$MP_G = NPG/\text{EffMP_}NP_G$$

$$NP_G = SWG \times (268 - (29.4 \times (RE/SWG)))$$

$$RE = 0.0635 \times EQEBW^{0.75} \times EQEBG^{1.097}$$

$$EQEBW = 0.891 \times EQSBW$$

$$EQEBG = 0.956 \times SWG$$

$$EQSBW = SBW \times (478/MSBW)$$

$$MSBW = 500 \text{ kg}$$

$$SBW = 0.96BW$$

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 478 kg ใช้

$$\text{EffMP_}NP_G = (83.4 - (0.114 \times EQSBW))/100$$

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) มากกว่า 478 kg ใช้

$$\text{EffMP_}NP_G = 0.28908$$

3) Metabolizable Protein requirements for lactation (MP_L)

$$MP_L \text{ (g/d)} = (Y \text{ Protein}/0.67) \times 1000$$

การคำนวณความต้องการโปรตีนในรูปของ Metabolizable protein (MP_R) ไม่สะดวกในการจัดการด้านอาหารจึงได้มีการแสดงในรูปของ Crude protein requirement (CP_R) ฉะนั้นจึงต้องคำนวณจาก MP_R เป็น CP_R

MP_R จะได้จากโปรตีนที่โคนมได้รับซึ่งโปรตีนที่ได้รับนั้นประกอบด้วย โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen undegradable protein, RUP)

นั่นคือ
$$MP_R = MP_{RUP} + MP_{Bact} + MP_{Endo}$$

ส่วนของ RDP โดยประมาณว่า จะถูกนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ (Microbial crude protein, MCP) 85% ของ RDP และ MCP ที่จะเป็นโปรตีนแท้ (Microbial true protein, MTP) 80% ของ MCP และจะสามารถย่อยและดูดซึมได้ (Digestible microbial true protein, DMTP) 80% ของ MTP

$$MCP = 0.85 \text{ RDP (NRC, 2001)}$$

$$MTP = 0.8 \text{ MCP}$$

$$\text{DMTP หรือ } MP_{RDP} = 0.8 \text{ MTP}$$

$$MP_{Bact} = 0.64 \text{ MCP}$$

การคำนวณหาความต้องการ MCP ในโคนมสามารถหาได้จากสมการ NRC (2001)

โดยที่
$$MCP = 0.85 \text{ RDP (NRC, 2001)}$$

$$RDP_R = MCP/0.85$$

$$RDP_R = 0.15294 \times TDN_{Actual}$$

จากสมการ $MP_R = MP_{RUP} + MP_{Bact} + MP_{Endo}$

หรือ $MP_{Bact} = MP_R - MP_{RUP} - MP_{Endo}$

$$MP_{Bact} = 0.64 \text{ MCP}$$

$$MP_{Endo} = 0.4 \times 1.9 \times \text{DMI} \times 6.25$$

การคำนวณหาความต้องการ RUP

$$MP_{RUP} = MP_R - (MP_{Bact} + MP_{Endo})$$

$$0.8 \text{ RUP} = \text{total digest RUP}$$

$$0.66 \times \text{total digest RUP} = MP_{RUP}$$

$$\text{total digest RUP} = MP_{RUP} / 0.66$$

$$RUP_R = MP_{RUP} / 0.528$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณ CP requirement จาก RDP และ RUP จากสมการ

$$CP_R = RDP_R + RUP_R$$

เมื่อ	NP_G	= Net protein requirement for growth
	$\text{EffMP_}NP_G$	= Efficiency of use of microbial protein for growth
	SWG	= Shrunk weight gain
	RE	= Retain energy
	EQEBG	= Equivalent empty body weight gain
	EQSBW	= Equivalent shrunk body weight
	EQEBW	= Equivalent empty body weight
	SBW	= Shrunk body weight
	WG	= Weight gain

2.4 การให้น้ำนมของโค

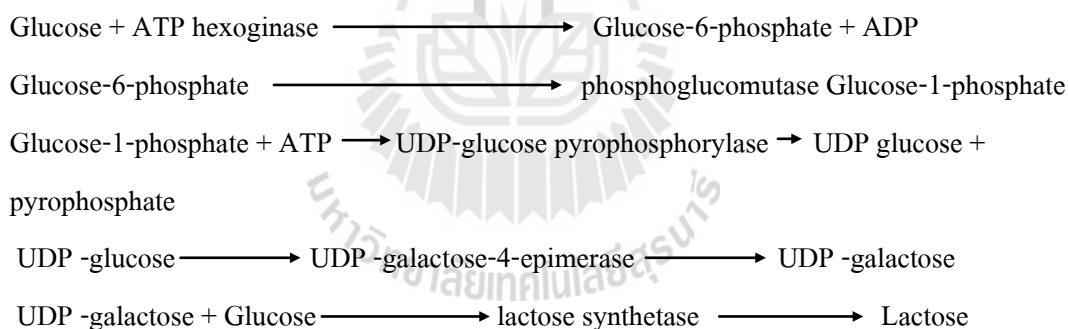
น้ำนมเป็นผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์จากองค์ประกอบของสารตั้งต้นในเลือด เช่น กลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น โดยเซลล์เฉพาะที่เต้านม คือ secretory cell เป็นเซลล์สังเคราะห์น้ำนมที่มีลักษณะคล้ายกระเปาะนม เรียกว่า alveolus ปริมาณน้ำนมที่ได้จะเก็บกักไว้รอการปล่อยออกมาโดยวิธีการดูดของลูกโค หรือผ่านกระบวนการรีดนม

2.4.1 การสังเคราะห์นม (Milk synthesis)

ส่วนประกอบหลักของน้ำนม ได้แก่ น้ำและปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำนมจะมีความสัมพันธ์ในทางบวก (Positive relations) กับปริมาณอิเล็กโทรไลต์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นและประจุ (ions) ต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ประจุโปแตสเซียม โซเดียม และคลอรีน ที่หลั่งออกมาทางน้ำนม

2.4.1.1 การสังเคราะห์แล็กโตส (Lactose synthesis)

น้ำตาลแล็กโตสในน้ำนมสังเคราะห์มาจากกลูโคส ซึ่งไหลเวียนอยู่ในกระแสเลือดที่ไหลผ่านต่อมสร้างน้ำนมกลไกการดูดซึม (Uptake) กลูโคสโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมยังไม่มีรายงานที่แน่ชัดอย่างไรก็ตามระดับของอินซูลิน (Insulin) ในกระแสเลือดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับของกลูโคสในกระแสเลือด สมการการสังเคราะห์กลูโคสสามารถแสดงได้ดังนี้



สมการขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นขั้นตอนที่จำกัด (Limiting step) การสังเคราะห์แล็กโตส ซึ่งเกิดขึ้น ในลูเมน (Lumen) ของโกลจิแอปพาราตัส (Golgi apparatus) ปริมาณของน้ำนมที่โคผลิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการสังเคราะห์แล็กโตสและปริมาณน้ำนมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการกินอาหาร แล็กโตสส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์มาจากกลูโคส ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรด โปรพิโอนิกและกรดอะมิโนที่ดูดซึมมาจากระบบทางเดินอาหารอีกทางหนึ่ง (Holmes and Wilson, 1984)

2.4.1.2 การสังเคราะห์โปรตีน (Protein synthesis)

โปรตีนในน้ำนมที่ถูกสังเคราะห์และขับออกมาโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนม ประกอบไปด้วย เคซีน (Casein) แอลฟา-แล็คตาบูมิน (α -lactalbumin) เบต้า-แล็คโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin) และโปรตีนชนิดอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น เอนไซม์ต่าง ๆ สารตั้งต้น (Precursors) ในการสังเคราะห์โปรตีน คือ กรดอะมิโนที่ถูกส่งมายังต่อมสร้างน้ำนมทางกระแสโลหิต ต่อมาสร้างน้ำนมจะดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acids) อย่างเพียงพอต่อการสังเคราะห์ กรดอะมิโนที่จำเป็นในน้ำนมแต่ในบางครั้งอาจดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็นเกินกว่าความต้องการ ส่วนที่เกินจะถูกนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acids) และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์น้ำนมกรดอะมิโนที่จำเป็น โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน (Sulphur) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยมากกว่าร้อยละ 60 จะถูกดูดซึมโดยต่อมสร้างน้ำนมในขณะที่ไหลผ่านมาตาม กระแสเลือด ถ้ากรดอะมิโนเหล่านี้มีไม่เพียงพอจะมีผลกระทบต่อ การสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนมหรือแม้กระทั่งมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม สำหรับการดูดซึมกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นโดยต่อมสร้างน้ำมนั้นไม่ค่อยแน่นอนในบางขณะจะดูดซึมมากกว่าความต้องการในการสังเคราะห์น้ำนม แต่ในบางโอกาสอาจขาดอย่างมาก (Holmes and Wilson, 1984)

กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมจากกระแสเลือดเข้าสู่ต่อมสร้างน้ำนมโดยผ่านกลไกที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แอลฟา-กลูตาไมล์ทรานเปปติเดส (α -glutamyl tranpeptidase) และโปรตีนในน้ำนมจะถูกสังเคราะห์โดยไรโบโซม (Ribosomes) ที่อยู่บนเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum) (Holmes and Wilson, 1984)

การสังเคราะห์น้ำนมอาจจะถูกจำกัดด้วยปริมาณของกรดอะมิโนบางชนิด โดยเฉพาะเมทไธโอนีน (Methionine) อย่างไรก็ตามฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ฮิสติดีน (Histidine) ไลซีน (Lysine) และทรีโอนีน (Threonine) อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำนมด้วยทั้งนี้มียางานว่าการเสริมกรดอะมิโนให้ไหลผ่านกระเพาะหมักและให้ไปย่อยในลำไส้เล็กสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้กลไกการทำงานของกรดอะมิโนต่อผลผลิตน้ำนมยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นไปได้ว่าเป็นการเพิ่มปริมาณของกรดอะมิโนให้กับต่อมสร้างน้ำนม หรือ กรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นนี้อาจไปกระตุ้นการปลดปล่อยฮอร์โมนที่มีหน้าที่กระตุ้นการกลั่นสร้างน้ำนม (Holmes and Wilson, 1984)

2.4.1.3 การสังเคราะห์ไขมัน (Fat synthesis)

ไขมันในน้ำนมกว่า 98% จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคไขมันระหว่าง 1 - 7 ไมโครเมตร (μm) (Holmes and Wilson, 1984) โคมนจะได้รับสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันโดยตรงจากอาหารและจากไขมันที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมันภายในร่างกายกรดไขมันในน้ำนมจำพวก Short และ Medium chain ($\text{C}_4\text{-C}_{16}$) จะถูกสังเคราะห์มาจากอะซิเตท (Acetate) และเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรท ($\beta\text{-hydroxybutyrate}$) ซึ่งอะซิเตทจะถูกดูดซึมจากกระเพาะหมักและเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรท ($\beta\text{-hydroxybutyrate}$) จะถูกเปลี่ยนรูปมาจากบิวทีเรท (Butyrate) ในขณะที่ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก 40-60% ของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันจะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งถูกสังเคราะห์ในลำไส้เล็กจากกรดไขมันที่ได้จากอาหารหรือถูกสังเคราะห์ที่ตับจากกรดไขมันที่ได้จากเนื้อเยื่อไขมัน (Holmes and Wilson, 1984)

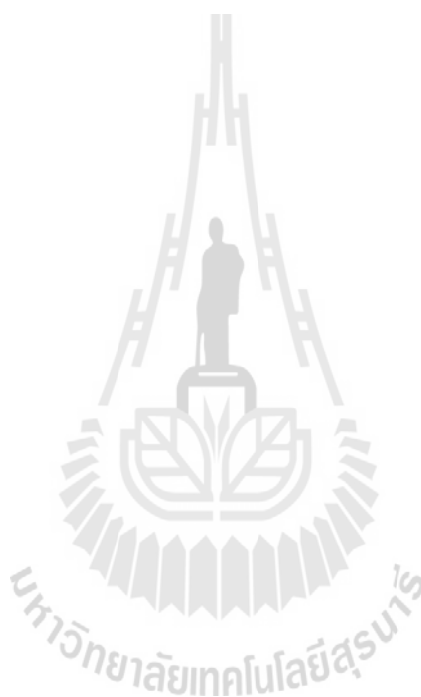
2.5 รายการอ้างอิง

- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2541). *โภชนศาสตร์สัตว์*. พิมพ์ครั้งที่ 6. เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์.
- สาโรช คำเจริญ. (2547). อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. *ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 130-132.
- Andrews, S. M., Tyrrell, H. F., Reynolds, C. K., and Erdman, M. D. (1991). Net energy for lactation of calcium soaps of long-chain fatty acids for cows fed silage-based diets. **J. Dairy Sci.** 74: 2588.
- Birkelo, C. P., Brouk, J. M. and Schingoethe, J. D. (2004). The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** 87: 1815-1819.
- Clark, P. W. and Armentano, E. L. (1993). Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cotton seed and dried distillers grains compared to alfalfa haylage. **J. Dairy Sci.** 76:2644.
- Crampton, E. W., Lloy, L. E., and Mackay, V. G. (1957). The calorie value of TDN. **J. Anim. Sci.** 16: 541-552.
- Conrad, H. R., Weiss, W. P., Odwongo, W. O., and Shockey, W. L. (1984). Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. **J. Dairy Sci.** 67: 427-437.
- Cyriac, J., Abdelqader, M. M., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R. and Schingoethe, D. J. (2005). Effect of replacing forage fiber with non-forage fiber in lactating dairy cow diets. **J Dairy Sci.** 88 (Suppl.):252 (Abstr.)

- Fonnesbeck, P. V., Wardeh, M. F., and Harris, L. E. (1984). **Mathematical models for estimating energy and protein utilization of feedstuffs**. Utah Agricultural Experimental Station Bulletin. No. 508.
- Garrett, W. N. (1980). **Energy utilization by growing cattle as determined by 72 comparative slaughter experiments**. Energy Metabolism. Proc. Symp. 26: 3-7.
- Grings, E. E., Roffler, E. R. and Deitelhoff, D. P. (1992). Responses of dairy cows to addition of distillers dried grains with solubles in alfalfa-based diets. **J. Dairy Sci.** 75:1946.
- Ham, G. A., Stock, A. R., Klopfenstein, J. T., Larso, M. E., Shain, H. D. and Huffman, R. P. (1994). Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with solubles as a source of protein and energy for ruminants. **J. Anim. Sci.** 72:3246-3257.
- Hippen, A. R., Kalscheur, F. K. (2004). Increasing inclusions of dried corn distillers grains in dairy cow diets. **J. Dairy Sci.** 87:(Abstr.).
- Hippen, A. R., Linke, N. K., Kalscheur, F. K., Schingoeth, J. D. and Garcia, D. A. (2003). Increased concentration of wet corn distillers grains in dairy cow diets. **J. Dairy Sci.** 86(Suppl. 1):340 (Abstr.).
- Holmes, C. W., and Wilson, G. F. (1984). **Milk Production from Pasture**. Butterworths, Wellington, New Zealand. 319p.
- Kalscheur, K. F. (2005). **Impact of feeding distillers grains on milk fat, protein and yield**. Proc. Distillers Grains Technology Council, 10th Annual Symposium, Louisville, KY.
- Knott Jeff and Shurson Jerry. (2004). **Variation in particle size and bulk density of distiller's dried grains with solubles (DDGS) produced by "new generation" ethanol plants in Minnesota and South Dakota**. University of Minnesota
- Kononoff, P. J. and Janicek, B. (2007). **Feeding distillers grains to dairy cattle**. Department of Animal Science. University of Nebraska – Lincoln.
- Manynard, L. A., Loosli, J. K., Hintz, H. F., and Warner, R. G. (1979). **Animal Nutrition**. 7th. McGraw-Hill, Inc., New York, NY.
- Moe, P. W., and Tyrrell, H. F. (1974). **Observation on the efficiency of utilization on metabolizable energy for meat and milk production**. P.27 Proc. Univ. of Nottingham.

- National Research Council. (1988). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 4thEd. National Academic Press. Washington D. C. 157 p.
- National Research Council. (1996). **Nutrients Requirements of Beef Cattle**. 6thEd. National academy press. Washington D.C.
- National Research Council. (2001). **Nutrients Requirements of Dairy Cattle**. 7thEd. National academy press. Washington D.C
- Owen, F. G. and Larson, L. L. (1991). Corn distillers dried grains versus soybean meal in lactation diets. **J. Dairy Sci.** 74:972.
- Palmquist, D. L. (1991). Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. **J. Dairy Sci.** 74: 1354-1360.
- Pamp, B. W., Kalscheur, F. K., Hippen, R. A. and Schingoethe, J. D. (2006). Evaluation of dried distillers grains versus soybean protein as a source of rumen-undegradable protein for lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** 89 (Suppl.):403 (Abstr.)
- Powers, W. J., Van Horn, H. H., Harris, B., Jr. and Wilcox, J. (1995). Effects of variable sources of distillers dried grains plus solubles on milk yield and composition. **J. Dairy Sci.** 78:388.
- Romo, G. A., Casper, D. P., Erdman, R. A., and Teter, B. B. (1996). Abomasal infusion of cis or trans fatty acid isomers and energy metabolism of lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** 79: 2005-2015.
- Schingoethe, D. J., Brouk, J. M. and Birkelo, P. C. (1999). Milk production and composition from cows fed wet corn distillers grains. **J. Dairy Sci.** 82:574-580.
- Spiehs, M. J., whitney, H. M. and Shurson, G. C. (2002). Nutrient data base for distillers dreid grains with solubles produced from new generation ethanol plants in Minnesota and South Dakota. **J. Anim. Sci.** 80:2639-2645.
- Staples, C. R., Oldick, S. B., Hirschert, E. and Velasquez, J. (1995). **Identifying the effective fiber value of whiskey solubles in lactating dairy cow diets**. Proc. 6th Annual Florida Ruminant Nutr. Symp. P. 75.
- Swift, B. W. (1957). The caloric value of TDN. **J. Dairy Sci.** 16: 1055-1059.
- Tyrrell, J. F., and Moe, P. W. (1975). Effect of intake on digestive efficiency. **J. Dairy Sci.** 58: 1151-1163.

- Tyrrell, H. F., and Reid, J. T. (1965). Prediction of the energy value of cow's milk. **J. Dairy Sci.** 48: 1215-1223.
- Wagner, D. C., and Loosli, J. K. (1967). **Studies on the energy requirements of high producing cows.** Memoir 400, Cornell Uni. Agr. Exp. Sta.
- Weiss, W. P., Conrad, H. R., and Pierre, N. R. S. (1992). A theoretically-based model for predicting total digestive nutrient value of forages and concentrates. **Anim. Feed Sci. Technol.** 39: 95-110.



บทที่ 3

การศึกษาผลของการเสริมส่ำข้าวโพดต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมัก

3.1 คำนำ

ส่ำข้าวโพด (Corn Distillers Dried Grains with Solubles ; CDDGS) เป็นผลิตผลจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากเมล็ดข้าวโพด เมื่อผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ แล้วจะพบว่าส่ำข้าวโพดมีองค์ประกอบทางโภชนะของโปรตีนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบก่อนกระบวนการหมัก ในขณะที่ ส่ำข้าวโพด มีปริมาณ NDF สูง แต่จะมี lignin อยู่่น้อย ฉะนั้น NDF จากส่ำข้าวโพด จะสามารถย่อยได้ง่ายในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งส่ำข้าวโพดนี้สามารถใช้ได้ทั้งเป็นอาหารหยาบและอาหารข้นในโคนม นอกจากนี้ ส่ำข้าวโพดยังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการผลิตน้ำนมและเพื่อการเจริญเติบโตได้ โดยไม่ก่อให้เกิดการลดลงของ pH ในกระเพาะหมักเนื่องจากการหมักย่อยอย่างรวดเร็วของ starchy compounds (Ham, Klopfenstein, Larson, Shain, and Huffman, 1994) และนอกจากนี้ส่ำข้าวโพดยังเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีสำหรับโคนม องค์ประกอบของโปรตีนโดยปกติจะมากกว่า 30% และส่ำข้าวโพดยังเป็นแหล่งของ ruminally undegradable protein (RUP) หรือ by-pass protein ที่ดีสำหรับโค คือ มีระดับ RUP ถึง 55% ของ Crude protein (CP) โคนมที่ได้รับ RUP มาก มักให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมที่สูง Pam, Kalscheur, Hippen, and Schingoethe (2006) รายงานการเสริม RUP ในรูปของ CDDGS สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมได้มากกว่าการเสริม RUP จากกากถั่วเหลือง นอกจากนี้ CDDGS ยังมีไขมันสูงกว่า DDGS ที่ผลิตจากธัญพืชอื่นๆ จึงทำให้มีพลังงาน NE_L มากกว่า DDGS จากธัญพืชอื่น แต่ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นอาหารโคนมในประเทศไทยยังมีน้อยมาก ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการแสดงให้เห็นถึงการใช้ประโยชน์จากส่ำข้าวโพดเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในอาหารข้น และต้นทุนในการผลิตอาหารโคนมร่วมกับการศึกษาผลตอบแทนของด้านผลผลิตของโคนมที่ได้รับส่ำข้าวโพดเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารข้นสำหรับเลี้ยงโคนม

3.2 วัดอุประสงค์

ศึกษาผลของการเสริม ส่วข้าวโพด ต่อการเปลี่ยนแปลงของ การวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (Rumen pH), ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโคโรเจน (rumen ammonia) และกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) ในกระเพาะหมักของโคนม

3.3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.3.1 การจัดการโคเจาะกระเพาะสำหรับทดลองและการให้อาหาร

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมเจาะกระเพาะ พันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน (Crossbreed Holstein Friesian) ที่มีระดับเลือดมากกว่า 87.5% จำนวนทั้งหมด 3 ตัว จัดกลุ่มโคแบบ 3x3 Latin Squares (Steel and Torrie, 1980) โดยโคจะเลี้ยงแบบขังในคอกเดี่ยวตลอดเวลา โดยจะแยกออกเป็น 3 Treatments คือ

กลุ่มที่ 1 ได้รับอาหารชั้นที่ไม่เสริมส่วข้าวโพด

กลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารชั้นที่เสริมส่วข้าวโพด 10 % ในสูตรอาหาร

กลุ่มที่ 3 ได้รับอาหารชั้นที่เสริมส่วข้าวโพด 20 % ในสูตรอาหาร

ตารางที่ 3.1 การจัดกลุ่มทดลองโคเจาะกระเพาะ

	P1	P2	P3
T1	1	2	3
T2	2	3	1
T3	3	1	2

3.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

นำโคเจาะกระเพาะมาเลี้ยงแบบขังเดี่ยวและเป็นอิสระต่อกัน 3 ตัว ในแบบการทดลอง 3x3 Latin squares โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 10 วัน ระยะปรับตัวของสัตว์ทดลอง 7 วัน และระยะทดลอง 30 วัน โดยจะเก็บตัวอย่างในวันที่ 10 ของการทดลอง จากนั้นจะปล่อยสัตว์ออกจากคอกและพักสัตว์ 7 วัน เพื่อลดอิทธิพลในสัตว์ที่มีมาจากการทดลองก่อน โดยในระหว่างการทดลองมีการเก็บข้อมูลดังนี้

3.3.2.1 ระดับความเป็นกรดต่าง (pH) ในกระเพาะหมัก

ทำการเปิดฝาส่วนที่ปิดกระเพาะหมักของโค (Cannula) ออก จากนั้นสูมเก็บของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลา 0, 2, 4 และ 6 โดยสูมเก็บจากหลายส่วนในกระเพาะหมักใส่ บีกเกอร์ จากนั้นทำการวัดระดับความเป็นกรด- ด่างของของเหลวในกระเพาะหมักทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง

โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดค่า (pH meter) อย่างไรก็ตามการวัดระดับความเป็นกรด – ค่าของเครื่องวัดจะต้องได้รับการปรับ (Calibrate) ด้วยการใช้ Buffers ที่ pH 7.0 และ pH 4.0 เสียก่อน

3.3.2.2 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen ammonia)

การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen ammonia; $\text{mgNH}_3\text{-N/litre}$) ที่เวลา 0, 2, 4 และ 6 โดยใช้หลอดทดลองที่มีฝาจุกขนาด 25 มิลลิลิตร บรรจุด้วย 6 N HCL ปริมาตร 5 มิลลิลิตร หลังจากเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมักแล้ว ใช้กระบอกตวง ๆ ของเหลวจากกระเพาะหมักปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมใส่ลงไปในหลอดทดลองที่มี 6 N HCL อยู่ จากนั้นนำหลอดทดลองไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วดูดเอาเฉพาะส่วนของเหลวใส (Supernatant) ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาเกลียวให้สนิท นำไปเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ -18°C เพื่อจะนำไปวิเคราะห์หาแอมโมเนียในโตรเจนต่อไปด้วยวิธี Kjeldahl ต่อไป

3.3.2.3 การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids)

การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) ที่เวลา 0, 2, 4 และ 6 ใช้หลอดทดลองชนิดมีฝาจุก (Test tube with cap) ขนาด 25 มิลลิลิตร บรรจุด้วย 6 N HCL ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เพื่อเก็บรักษาและเป็นการหยุดชะงักกิจกรรมและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จากนั้นปิดฝาจุกให้แน่นก่อนนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บไว้เฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวใส (Supernatant) ลงในขวดขนาด 25 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาจุกเกลียว นำไปเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ -18°C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC)

Condition of GC:

Column: DE-FFAP, 30 m x 0.25 mm I.D., 0.25 μm

Injector: split 1:50, 250 $^\circ\text{C}$

Oven: 100 $^\circ\text{C}$ for 5 min

100-250 $^\circ\text{C}$ at 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$

250 $^\circ\text{C}$ for 12 min

Detector: Temperature: FID, 300 $^\circ\text{C}$

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลพื้นฐานที่เก็บจากการทดลองได้แก่ สภาพความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ นำเข้าประมวลผลและวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลอง แบบ 3x3 Latin squares โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1996) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

3.5 สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.6 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.6.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

การเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของของเหลวในกระเพาะหมัก ที่เวลาต่าง ๆ หลังให้อาหาร 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ดังนี้ กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 6.78, 6.59, 6.56 และ 6.52 กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6.83, 6.67, 6.50 และ 6.38 และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 6.92, 6.64, 6.60 และ 6.53 ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับการเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารที่ระยะเวลา 0, 2, 4 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 3.2

3.6.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการศึกษาทดลองการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียในโตรเจนภายในกระเพาะหมักในโคเจาะกระเพาะที่ได้รับการเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนม ที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร จะพบว่าปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะหมักที่เวลา 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าระดับของแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมักของโคนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 ผลการเสริมสาขั้วโพดต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และ แอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่างๆหลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	ระดับของการเสริมสาขั้วโพด			SEM ¹	P-value	Contrast	
	0	10 %	20 %			L	Q
pH							
Hour 0	6.78	6.83	6.92	0.004	0.230	ns	ns
Hour 2	6.59	6.67	6.64	0.018	0.194	ns	ns
Hour 4	6.56	6.50	6.60	0.020	0.790	ns	ns
Hour 6	6.52	6.38	6.53	0.436	0.600	ns	ns
NH ₃ -N ² -----(mg/l)-----							
Hour 0	55.60	49.73	51.69	2.208	0.190	ns	ns
Hour 2	114.34	110.43	120.21	1.211	0.840	ns	ns
Hour 4	57.56	59.52	63.44	0.436	0.810	ns	ns
Hour 6	43.85	36.02	36.02	0.228	0.200	ns	ns

หมายเหตุ : SEM¹ = Standard error of mean, $\text{NH}_3\text{-N}^2$ = Ammonia nitrogen,

Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal polynomials;

L = linear; Q = quadratic

3.6.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนของอะซิติกต่อโพรพิโอนิก ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเสริมสาขั้วโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารกับโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20 % ในสูตรอาหาร หลังจากให้อาหารเป็นระยะเวลา 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 พบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 73.59, 75.77, 70.89 และ 70.65 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 76.67, 76.95, 70.92 และ 72.45 mol/100 mol และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 75.67, 71.96, 72.38 และ 73.00 mol/100 mol ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ระดับความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมัก ในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 16.22, 18.34, 18.11 และ 18.11 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 16.62, 18.91, 18.01 และ 18.01 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 16.16, 18.28, 16.95 และ 18.62 mol/100 mol ในชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระดับความเข้มข้นของบิวทีริกของของเหลวในกระเพาะหมัก กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 10.19, 12.55, 10.87 และ 11.24 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 8.16, 10.51, 10.28 และ 9.55 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 6.85, 10.24, 10.02 และ 10.04 mol/100 mol ระดับของอัตราส่วนระหว่างอะซิติกและโพรพิโอนิก ในกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 4.61, 4.07, 3.92 และ 3.95 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 4.61, 4.07, 3.79 และ 4.05 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4.69, 4.06, 4.16 และ 4.36 mol/100 mol ในชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของ บิวทีริกและอัตราส่วนของอะซิติกและโพรพิโอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระดับความเข้มข้นผลรวมของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวจากกระเพาะหมัก ในกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 125.48, 99.63, 120.77 และ 100.87 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 115.04, 105.90, 86.56 และ 90.02 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 101.20, 88.16, 102.33 และ 95.05 mol/100 mol ในชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 3.3 ผลการเสริมส่วข้าวโพดในสูตรอาหารขึ้นต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้

(Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	ระดับของการเสริมส่วข้าวโพด			SEM	P-value	Contrast	
	0	10 %	20 %			L	Q
Acetate; C2	----- (mol/100mol) -----						
Hour 0	73.59	76.67	75.67	0.283	0.49	ns	ns
Hour 2	75.77	76.95	71.96	0.808	0.72	ns	ns
Hour 4	70.89	70.92	72.38	0.142	0.43	ns	ns
Hour 6	70.65	72.45	73.00	0.214	0.45	ns	ns

ตารางที่ 3.3 ผลการเสริมส่วข้าวโพดในสูตรอาหารขึ้นต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร (ต่อ)

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	ระดับของการเสริมส่วข้าวโพด			SEM	P-value	Contrast	
	0	10 %	20 %			L	Q
Propionate; C3	----- (mol/100mol) -----						
Hour 0	16.22	16.62	16.16	0.084	0.75	ns	ns
Hour 2	18.34	18.91	18.28	0.083	0.61	ns	ns
Hour 4	18.11	18.01	16.95	0.035	0.07	ns	ns
Hour 6	18.11	18.01	18.62	0.132	0.81	ns	ns
Butyrate; C4	----- (mol/100mol) -----						
Hour 0	10.19	8.16	6.85	0.227	0.33	ns	ns
Hour 2	12.55	10.51	10.24	0.227	0.18	ns	ns
Hour 4	10.87	10.28	10.02	0.096	0.57	ns	ns
Hour 6	11.24	9.55	10.04	0.179	0.53	ns	ns
C2:C3	----- (mol/100mol) -----						
Hour 0	4.61	4.61	4.69	0.041	0.95	ns	ns
Hour 2	4.07	4.07	4.06	0.055	0.99	ns	ns
Hour 4	3.92	3.79	4.16	0.018	0.21	ns	ns
Hour 6	3.95	4.05	4.36	0.019	0.18	ns	ns
Total VFA	----- (mol/100mol) -----						
Hour 0	125.48	115.04	101.20	4.19	0.29	ns	ns
Hour 2	99.63	105.90	88.16	2.74	0.87	ns	ns
Hour 4	120.77	86.56	102.33	2.95	0.49	ns	ns
Hour 6	100.87	90.02	95.05	0.65	0.28	ns	ns

หมายเหตุ: SEM = Standard error of mean, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์

แบบ Orthogonal polynomials; L = linear; Q = quadratic

3.7 วิจารณ์ผลการทดลอง

3.7.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญซึ่งมีผลต่อระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก คือระดับของ pH (Power of H⁺ gradient; pH) โดยค่า pH จะมีผลกระทบต่อทั้งสปีชีส์ และจำนวนประชากรของ จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เนื่องจากมีความสัมพันธ์ต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ของ แบคทีเรีย (Moat and Foster, 1995) และมีผลต่อการดูดซึมโภชนาต่างๆผ่านผนังกระเพาะหมักด้วย (Church, 1979) สภาพภายในกระเพาะหมักที่มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มาก คือ มี pH อยู่ระหว่าง 5.5-7.0 อุณหภูมิเฉลี่ย 39-40°C จากการทดลองการเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารกับโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20 % ในสูตรอาหาร พบว่าค่าเฉลี่ยของ pH ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยปัจจัยที่สำคัญและมีผลต่อระดับ pH ในกระเพาะหมักเป็นอย่างมากนั้นคือ ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFAs) ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากการหมักย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยกรดไขมันระเหยได้เป็นกรดไขมันที่ละลายในน้ำได้ (Lipid soluble compounds) มีคุณสมบัติในการจับปล่อยโปรตอน (H⁺) (Forbes and France, 1993) ดังนั้นเมื่อระดับกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นหรือลดลงจึงส่งผลให้ระดับของ pH ในกระเพาะหมักเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบว่าระดับ pH ที่ชั่วโมงต่างๆหลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพราะพบว่าระดับของกรดไขมันระเหยได้ คือ Acetate, Propionate, Butyrate ในกระเพาะหมักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงไม่ส่งผลให้ระดับของ pH ในกระเพาะหมักมีการเปลี่ยนแปลง ฉลอง วิจิราภกร (2541) ได้รายงานว่าการทดลองในครั้งนี้ค่าเฉลี่ยของค่า pH ของของเหลวในกระเพาะหมักอยู่ในระดับที่ปกติและเหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

3.7.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก

ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในกระเพาะหมักนั้นมีความผันแปร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่มีและแหล่งของแร่ธาตุ ความถี่ของการให้อาหาร (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) โดยแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมักจะได้รับการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร จุลินทรีย์โปรตีน และสารประกอบ NPN (Non protein nitrogen) โดยระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในการทดลองครั้งนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้นปัจจัยที่จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักมีความแตกต่างกันนั้นจะมาจากแอมโมเนียไนโตรเจนของ โดย Mehrez, Ørskov, and McDonald (1977) รายงานว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมในกระเพาะหมักนั้น ควรจะอยู่ในระดับที่ทำให้จุลินทรีย์ใน

กระเพาะหมักเจริญเติบโตดีที่สุดและมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงที่สุด Boucher et al. (2007) รายงานระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนว่าอยู่ที่ระหว่าง 9.0-17.4 mg/dL แต่พบว่าที่ระดับ 9.0 mg/dL นั้นมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงที่สุด อย่างไรก็ตามค่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนในการทดลองครั้งนี้ก็อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการย่อยได้ของวัตถุแห้งในกระเพาะหมัก แต่อย่างไรก็ตาม เมธา (2533) กล่าวว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร โดยเฉพาะแหล่งคาร์โบไฮเดรต ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต และสภาพนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักที่เหมาะสม

3.7.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก

กรดไขมันระเหยได้เป็นผลผลิตจากการหมักย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งพบว่ากรดไขมันระเหยได้ที่ถูกใช้เป็นพลังงานของโคนมถึง 80% (Bergman, 1990) โดยกรดไขมันระเหยได้จะถูกขนส่งจากกระเพาะหมัก 2 ทางคือ การดูดซึมผ่านผิวหนังชั้น Epithelium ของกระเพาะหมักและรวมไปกับของเหลวจากกระเพาะหมักผ่านทาง Reticulo-omasal office (Peters, Shen, and Chester, 1990) ถ้าในกระเพาะหมักนั้นมีปริมาณของกรดไขมันระเหยได้มากเกินไปนั้นจะทำให้ pH ในกระเพาะหมักลดลงและการเกิด Rumen acidosis (Barker, Van Dreumel, and Palmer, 1995) จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ คือ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิโอนิก เมื่อใช้ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร ที่ข้าวโพด 0, 2, 4 และ 6 หลังการให้อาหาร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีจะความเข้มข้นลดขึ้นที่ เวลา 2 ชั่วโมงหลังการให้อาหารแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันระเหยได้จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก (Forbes and France, 1993) รายงานว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการกินได้ทั้งหมด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนที่ผลิตได้ กล่าวคือถ้ามีการเจริญของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสูงก็จะสามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้ในสัดส่วนที่สูง ทั้งนี้เนื่องจากมีกระบวนการหมักที่มีประสิทธิภาพ และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้นั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบซึ่งสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อโพรพิโอนิกจะมีอิทธิพลมาจากอาหารที่สัตว์ได้รับ โดยสัตว์ที่กินอาหารหยาบได้มากก็จะผลิตกรดอะซิติกสูง และสัตว์ที่กินอาหารข้นที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ สูงจะมีการผลิตกรดโพรพิโอนิกได้สูงเช่นกัน (Dado and Allen, 1995) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมักขึ้นอยู่กับอัตราการผลิต และการดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก ซึ่งหากอัตราในการผลิตมากกว่าอัตราการดูดซึมก็จะมีสะสมอยู่ในกระเพาะหมักมากขึ้น ซึ่งในการทดลองครั้งนี้มีระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 69.97-75.90 mol/100mol กรดโพรพิโอนิกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 15.71-19.57 mol/100mol กรดบิวทีริกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 7.8-10.77 mol/100mol และ

อัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิโอนิกมีค่าอยู่ระหว่าง 3.63-4.87 โดยปกติแล้วกรดไขมันระเหยได้ถือเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยเฉพาะกรดโพรพิโอนิกจะมีผลต่อการให้ผลผลิต (Aiello et al., 1989) และสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกที่เพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตน้ำนมอย่างมาก จึงมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตน้ำนม นอกจากนี้กรดไขมันไขมันระเหยได้ยังมีผลต่อองค์ประกอบในน้ำนมด้วย ซึ่งกรดอะซิติกและกรดบิวทิริก จะเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม (Gransworthy, 1988) โดยไขมันในน้ำนมจะมีส่วนประกอบเป็นกรดไขมันสายยาว ซึ่งได้จากการสังเคราะห์ในเยื่อไขมันของต่อมน้ำนม และจากอาหารโคความยาวของกรดไขมันสายยาวในน้ำนม ได้จากกรดไขมันระเหยได้ที่เป็น primer ได้แก่ เบต้าไฮดรอกซีบิวทิริก และอะซิเตท โดยกรดบิวทิริก จะเพิ่มความยาวโดยการเพิ่มสายคาร์บอนทีละสองตัว (elongation) ทำให้ได้กรดไขมันสายยาวในน้ำนม (ฉลอง, 2541)

3.8 สรุปผลการทดลอง

ผลของการสาข้าวโพลเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นเลี้ยงโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ของอาหารและทำการวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) และระดับของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) ที่ชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของระดับ pH ในกระเพาะหมัก ($P>0.05$) ในทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง โดยพบว่าระดับของ pH ในกระเพาะหมักจะลดลงที่ชั่วโมงที่ 2 หลังการให้อาหาร เช่นเดียวกันกับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนก็ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างโคทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนจะเพิ่มขึ้นที่ชั่วโมงที่ 2 ซึ่งเป็นปริมาณของแอมโมเนียในโตรเจนที่ได้จากการหมักย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและจะลดต่ำลงที่ชั่วโมงที่ 5 และ 7 เพราะจุลินทรีย์ได้นำแอมโมเนียในโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและแอมโมเนียในโตรเจนถูกดูดซึมออกจากกระเพาะหมักผ่านทางผนังชั้น Epithelium ของกระเพาะหมัก และปริมาณของกรดไขมันระเหยได้พบว่าจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก และอัตราส่วนระหว่างกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก การทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมสาข้าวโพล ที่ระดับ 10 และ 20 % ของอาหารไม่ทำให้ระดับ pH, $\text{NH}_3\text{-N}$ และระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้เปลี่ยนแปลง

3.9 รายการอ้างอิง

ฉลอง วิจิราภกร. (2541). โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น . ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- เมธา วรรณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดฟีนีฟับบลิซซิ่ง.
- Aiello, R.J., Armentano, L.E., Bertics, S.J., and Hurphy, A.I. (1989). Volatile fatty acids uptake and propionate metabolism in ruminant hepatocytes. **J. Dairy Sci.** 72:942-950
- Barker, I. K., Van Dreumel, A. A., and Palmer, N. (1995). **The alimentary system**. Page 1 in Pathology of Domestic Animals. 4th.ed. Vol 2. K. V. F. Jubb, P. C. Kennedy, N. Palmer, ed. Academic Press, San Diego, CA.
- Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiol. Rev.** 70: 567-590.
- Boucher, S. E., Ordway, R. S., Whitehouse, N. L., Lundy, F. P., Kononoff, P. J., and Schwab, C.G. (2007). Effect of incremental urea supplementation of a conventional corn silage-based diet on ruminal ammonia concentration and synthesis of microbial protein. **J. Dairy Sci.** 90: 5619-5633.
- Church, D.C. (1996). **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants**. V. II. O & B Book, Inc., Corvalis Oregon. U.S.A.
- Dado, R. C., and Allen, M. S. (1995). Intake limitations, feeding behavior and rumen function of cows challenged with runmen fill from dietary fiber or inert bulk. **J. Dairy Sci.** 78: 118.
- Forbes, J. M., and France, J. (1993). **Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism**. Cambridge:The University Press. UK.
- Garnsworthy, P.C. (1988). **Nutrition and Lactation in the Dairy Cow**. Anchor-Brender Butterworths Press. Nottingham. England.
- Mehrez, A. Z., Ørskov, E. R., and McDonald, I. (1977). Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. **Br. J. Nutr.** 38: 437-443.
- Moat, A. G., and Foster, J. W. (1995). **Microbial Physiology**. Wiley-Liss Pulisher. New York. USA. 580 p.
- Peters, J. P., Shen, R. Y. W., and Chester, S. T. (1990). Propionic acid disappearance from the foregut and small intestine of the beef steer. **J. Anim. Sci.** 68: 3905-3913.
- Steel, R. G. D., and Torrie, J. H. (1980). **Principles and Procedures of Statistics: a biometric approach** (2nd Ed). McGrawhill: New York.

บทที่ 4

การศึกษาผลของการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นต่อ ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม และกรดไขมันในน้ำนม

4.1 คำนำ

สถานการณ์ปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลได้มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวสูงขึ้นทุกปี ผลที่ตามมาคือ กากธัญพืชที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอลก็มีเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ประมาณ 7 ล้านเมตริกตัน/ปี (Noll et al., 2001) ดังนั้นส่ำข้าวโพดที่เหลือจากการหมักเอทานอลก็น่าจะนำมาทำคุณประโยชน์ได้ โดยการนำมาเป็นอาหารสัตว์หรือเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ Schingoethe (2007) และที่สำคัญรายงานการวิจัยหลายๆฉบับสนับสนุนการใช้ส่ำข้าวโพด (Corn Distillers Dried Grains With Solubles, CDDGS) ซึ่งจัดได้ว่า ส่ำข้าวโพด เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานสูง (Schingoethe, 2007) แต่ส่ำข้าวโพดที่เหลือจากการหมักเอทานอล ที่ได้นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ การกินได้ และความเหมาะสมในการใช้ อย่างไรก็ตามจากการศึกษารายงานการวิจัยหลายๆ ฉบับยังหาข้อสรุปเกี่ยวกับความเหมาะสมในการใช้ส่ำข้าวโพดไม่แน่นอน ดังรายงานของ Da Cruz et al (2005) รายงานว่าสามารถให้ส่ำข้าวโพดที่ระดับ 10% วัตถุแห้งสามารถเพิ่มปริมาณน้ำนม และ Sasikala et al (2008) รายงานว่า ใช้ส่ำข้าวโพดที่ระดับ 20% วัตถุแห้ง สามารถเพิ่ม Conjugated linoleic acid (CLA) ในน้ำนมได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการรวบรวมและวิเคราะห์เอกสารในครั้งนี้ เพื่อศึกษาความเหมาะสมของการใช้ส่ำข้าวโพดต่อผลผลิตในโคนม

4.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการใช้ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นต่อผลผลิต น้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมและกรดไขมันในน้ำนมของโคนม

4.3 อุปกรณ์และวิธีการ

4.3.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร

การจัดการสัตว์ทดลอง

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟริเซียน (Crossbreed Holstein Friesian) ที่มีระดับเลือดมากกว่า 87.5% จำนวน 24 ตัว จำนวนวันการให้น้ำนมเฉลี่ย 112 ± 60 วัน (mean \pm SD) ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 13 ± 2.9 กิโลกรัม/วัน อายุเริ่มต้นในการทดลองเฉลี่ย 55 ± 16 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 410 ± 66 กิโลกรัม ทำการจัด treatment แบบ stratified random balance group ในแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) จากนั้นแบ่งโคออกเป็นกลุ่มการทดลองละ 8 ตัว โคทุกตัวจะถูกเลี้ยงโดยขังในคอกเดี่ยวและเป็นอิสระต่อกันตลอดเวลา การทดลองจะใช้เวลาทั้งหมด 37 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ช่วง ๆ ละ 5 วันและเวลาในการปรับตัวสัตว์ก่อนการทดลอง 7 วัน จัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกันดังนี้

กลุ่ม Control ได้รับสำข้าวโพด 0 % เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารข้น

กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับสำข้าวโพด 10 % เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารข้น

กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับสำข้าวโพด 20 % เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารข้น

ในการทดลองนี้ได้ทำการผสมอาหารข้นทั้งสิ้น 3 สูตรด้วยเครื่องผสมอาหาร โดยที่โคทุกตัวจะได้รับอาหาร 8 กิโลกรัม ต่อวัน ๆ ละ 3 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. อาหารหยาบ (Roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ ข้าวโพดหมักวันละ 30 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และมีน้ำดื่มสะอาดใส่อ่างให้โคกินตลอดเวลา และโคนมในแต่ละกลุ่มจะได้รับอาหารข้นตามสูตรอาหารดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง

Parameter	control	10 %	20 %
Milk yield, Kg/d	12.97 ± 2.77	12.96 ± 3.05	13.08 ± 2.93
Age, month	51 ± 17.74	57 ± 16.70	69 ± 18
DIM ¹ , day	111.13 ± 64.55	119 ± 54.56	105.88 ± 61.84
Weight, Kg	401.25 ± 77.23	406.88 ± 59.73	422.50 ± 61.77

หมายเหตุ: DIM¹ = day in milk

ตารางที่ 4.2 แสดงชนิด และปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ /100 กิโลกรัม (น้ำหนักสด)	สูตรที่ 1 (0% CDDGS)	สูตรที่ 2 (10% CDDGS)	สูตรที่ 3 (20% CDDGS)
ส่ำข้าวโพด	0	10	20
กากมัน	23.5	23.5	23.5
รำข้าว	10	10	10
บาสฟาสไขมัน	0.2	0.2	0.2
กากปาล์มเนื้อใน	33.8	28.8	23.8
กากถั่วเหลือง	20	15	10
กากน้ำตาล	7	7	7
ยูเรีย	2.5	2.5	2.5
แร่ธาตุ	2.5	2.5	2.5
พรีมิกซ์	0.5	0.5	0.5
รวม	100	100	100

4.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

ทำการจัดกลุ่มโคสาวที่อยู่ในช่วงแรกของการให้นมจำนวน 24 ตัว ออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง นำโคเข้าทดลองโดยได้รับส่ำข้าวโพด 0 %, 10% และ 20% เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารขึ้น ตามลำดับ ระหว่างทดลองมีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

การกินได้

ปริมาณการกินได้จะวัดทุกช่วงการทดลอง (5 วัน) 2 วันติดต่อกัน โดยทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักปริมาณของอาหารก่อนโคกิน ทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบรวมถึงเก็บตัวอย่างอาหารก่อนกินเป็นรายตัว หลังจากนั้นทำการชั่งอาหารที่เหลือจากการกินของโค เพื่อหาปริมาณของอาหารที่โคกินเข้าไป สุ่มเก็บอาหารแต่ละชนิดประมาณ 10% (อาหารข้นกลุ่มควบคุม อาหารข้นกลุ่มทดลองและอาหารหยาบ) นำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักวัตถุแห้งของตัวอย่างอาหาร (Dry matter, DM) จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีแบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) ซึ่งวิเคราะห์วัตถุแห้งโดยเครื่อง Hot air oven โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) โดยเครื่อง Kjeltac auto analyzer ไขมัน (Ether extract) โดยเครื่อง Soxhlet auto เชื้อใยหยาบ (Crude fiber, CF) โดยเครื่อง Fibertec auto analyser และเถ้า (Ash) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการวิเคราะห์ เชื้อใยโดย Detergent analysis (Goering and VanSoest, 1970) ได้แก่ เชื้อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง

(Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และ Acid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง Fibertec auto analyser

น้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังการทดลองโคทั้ง 3 กลุ่มทดลองหลังจากทำการรีดนม ช่วงเช้าก่อนการให้อาหาร โดยชั่งน้ำหนักโครายตัวด้วยเครื่องชั่ง จากนั้นนำน้ำหนักโคทั้งก่อนและหลังการทดลองไปคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่อวัน (Body Weight Change, BWC)

ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของนํ้านม

ทำการจดบันทึกผลผลิตนํ้านมของโคนมทุกตัว ทุกวันตลอดระยะเวลาในการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างนํ้านมดิบทุกช่วงการทดลอง โดยสุ่มเก็บช่วงละ 2 วันติดต่อกัน โดยจะแบ่งเป็น นมช่วงเย็นและช่วงเช้าในเวลา 15.00 และ 05.00 นาฬิกา ตามลำดับ เพื่ อจะนำไปวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีของนํ้านมได้แก่ ไขมันนม โปรตีนนม แล็กโตส ของแข็งพร่องไขมัน (Solid not fat) และของแข็งรวมในนม (Total solid) โดยเครื่อง Milkoscan S50

4.3.3 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมัน

อาหารสัตว์

สุ่มเก็บอาหารแต่ละชนิดในแต่ละกลุ่มการทดลอง (อาหารข้นและอาหารหยาบ) เพื่อนำไปสกัดไขมัน ซึ่งดัดแปลงตามวิธีการของ Folch, Lees, and Sloane-stanley (1957) และ Metcalfe, Schmitz, and Pelka (1996) โดยนำตัวอย่างที่สุ่มได้ตัวอย่างละ 15 กรัม ทำการสกัดด้วย Chloroform-Methanol (2:1 v/v) ปริมาณ 90 ml จากนั้นนำไปปั่น (Homogenize) เป็นเวลา 2 นาที แล้วเติมด้วย Choloform ปริมาณ 30 ml และ 0.58 NaCl ปริมาณ 5 ml เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้จน สารละลายแยกชั้นอย่างชัดเจน จากนั้นปล่อยสารละลายที่อยู่ส่วนล่างไว้ใน Evaporation flask ทำการแยกตัวทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40°C ด้วย Rotary Evaporator แล้วย้ายไปเก็บไว้ในหลอดทดลองภายใต้แก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะทำการ Methylation

นํ้านม

สุ่มเก็บนํ้านมดิบในวันที่ 0, 10, 20 และวันที่ 30 ของการทดลองทั้งช่วงเช้าและช่วงเย็น จากนั้นนำมารวมกันตามสัดส่วนของปริมาณนํ้านม นำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 นาที ชั้นของไขมัน (Fat cake) จะแยกอยู่บนชั้นบนของ นํ้านม แยกชั้นของไขมันออกมาเพื่อนำ ไปสกัดไขมันต่อไปตามวิธีการของ Kelly, KolverBauman, Van Amburgh, and Muller (1998) โดยนำชั้นของไขมันมาสกัดด้วย hexane-isopropanol (3:2 v/v) 18 ml/g fat cake เขย่าด้วย Vortex จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซัลเฟต 6.7% (6.7% Na₂SO₄) ปริมาตร 12 ml/ g fat cake ชั้นของ hexane จะแยกออกมาจากด้านล่าง ให้ทำการแยก hexane จาก

หลอดทดลองใส่ในหลอดที่เติมโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการแยกตัว ทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40°C ด้วย Rotary Evaporator แล้วย้ายไปเก็บภายใต้ แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะทำการ Methylation และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรด ไขมัน (Fatty acid) โดยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของ Fatty acids ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ การทำ saponification และการทำ methylation ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Ostrowska, Dunshea, Muralitharan, and Cross (2000)

1) การทำ saponification

ทำการชั่งตัวอย่างไขมันน้ำหนักประมาณ 30 mg ใส่หลอดทดลองฝาเกลียว ขนาด 15 ml เติม 0.5 N NaOH/MeOH ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด แล้วใส่อากาศในหลอด ด้วยแก๊สไนโตรเจน ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิท

ให้ความร้อนที่ 100°C ใน water bath เป็นเวลา 5 นาที ระหว่างนั้นควรเขย่า อย่างแรง 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปกติ การทำ Saponification ที่สมบูรณ์สังเกต จากการได้สารละลายใส ไม่มีหยดน้ำมันเหลือ

2) การทำ methylation

เติม 14% BF_3/MeOH ปริมาตร 2 ml ใส่ในหลอดทดลองที่ทำการ saponification ที่สมบูรณ์ แล้วทำการเติม internal standard จำนวน 1 มิลลิลิตร (ใช้ C_{17} ความเข้มข้น แน่นอน 2.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใน hexane) ใส่อากาศภายในหลอดทดลองด้วยแก๊สไนโตรเจน ปิด ฝาหลอดทดลองให้สนิท

ให้ความร้อนที่ 100°C ใน water bath นาน 5 นาที ระหว่างนั้นควรเขย่าอย่าง น้อย 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปกติ

เท solution ที่ได้จากการทำ methylation ลงในหลอด centrifuge ฝาเกลียว ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไป centrifuge ที่อุณหภูมิ 10°C ที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ liquid-liquid phase แยกได้ชัดเจน

เติม Hexane 3 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร และทำการเขย่าเบาๆ ทำการดูด hexane ที่อยู่ชั้นบนและ dry น้ำที่อาจติดออกมาด้วย Na_2SO_4 ต้องให้แน่ใจว่าไม่มีน้ำปน เพราะน้ำที่หลงเหลืออยู่อาจมีผลต่อ GC ซึ่งเป็น polar และ ion exchange column

เก็บตัวอย่างที่ dry น้ำออกเรียบร้อยแล้วไว้ในขวดสีชา ใส่อากาศด้วยแก๊ส ไนโตรเจน หลังจากนั้นนำตัวอย่าง Fatty acid methyl ether ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ Fatty acid โดย เครื่อง Gas Chromatography (GC)

Condition of GC:

Column : SP-2560 100 m x 0.25 ID x 0.20 μ m film

Oven: 140°C 5 min to 240°C at 4°C/min hold 15 min

Detector: FID, 260°C

Injector: split 100:1, 250°C

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลพื้นฐานที่จากการทดลองได้แก่ การกินได้ของวัตถุดิบ น้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน องค์ประกอบและกรดไขมันในน้ำมันข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองถูกนำเข้าประมวลผลและวิเคราะห์ความแปรปรวน

(Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลอง แบบ Complete randomize design (CRD) โดยใช้ Proc GLM (SAS, 1996) และใช้วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

4.5 สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และอาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.6 ผลการทดลอง

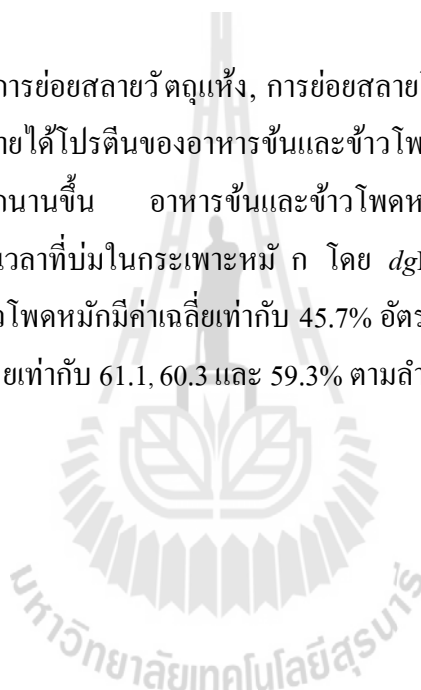
4.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 สูตรแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าอาหารทดลองสูตรที่ 1 คือสูตรอาหารที่มีการใช้สาคั่วโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารในระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร อาหารทดลองสูตรที่ 2 คือสูตรอาหารที่มีการใช้สาคั่วโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร อาหารทดลองสูตรที่ 3 คือสูตรอาหารที่มีการใช้สาคั่วโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารสูตรที่ 1 มีค่าวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน ถั่ว และพวกโครงสร้างพืช ได้แก่ปริมาณของเยื่อใย NDF ADF และADL มีค่าเท่ากับ 91.00, 20.70, 2.96, 7.00, 45.74 18.78 และ 3.98 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ ตามลำดับ ส่วน อาหารสูตรที่ 2 มีค่าวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน ถั่ว และพวกโครงสร้างพืช ได้แก่ปริมาณของเยื่อใย NDF ADF และADL มีค่าเท่ากับ 90.42, 21.38, 2.93, 7.22, 49.89, 20.64 และ 3.69 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ ตามลำดับ ส่วนอาหารสูตรที่ 3 มีค่าวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน ถั่ว และพวกโครงสร้างพืช ได้แก่ปริมาณ

ของเชื้อใย NDF ADF และADLมีค่าเท่ากับ 89.33, 21.10, 2.94, 7.37, 46.57, 22.12 และ 3.76 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบแห้ง ตามลำดับ

เมื่อนำค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารชั้นแฉะ ข้าวโพดหมักมาคำนวณหาค่า โภชนะย่อยได้ (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) ตามสมการ NRC (2001) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ค่าโภชนะย่อยได้ของอาหารทั้ง 3 สูตรมีค่าเท่ากับ 66.853%, 66.246% และ 66.135 % ตามลำดับ เช่นเดียวกับพลังงานย่อยได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.115, 3.104และ 3.100 Mcal/kgDM ตามลำดับ ส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 2.696, 2.695 และ 2.680 Mcal/kgDM ตามลำดับ และพลังงานสุทธิ มีค่าเท่ากับ 1.705, 1.698 และ1.694 Mcal/kgDM ตามลำดับ

การศึกษาการย่อยสลายวัตถุดิบแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุดิบแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารชั้นและข้าวโพดหมัก พบว่าเมื่อมีระยะเวลาของอาหารอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น อาหารชั้นและข้าวโพดหมักจะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลาที่บ่มในกระเพาะหมัก โดย $dgDM$ ของอาหารชั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.9, 76.8, 73.0% และข้าวโพดหมักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.7% อัตราการย่อยสลายได้โปรตีนในอาหารชั้นและหญ้าหมัก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.1, 60.3 และ 59.3% ตามลำดับ



ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารชั้นสำเร็จรูป และอาหารหยาบ (Mean \pm SE)

% Dry matter	Control	10 %	20 %	Corn silage
Dry matter	91.00 \pm 0.25	90.42 \pm 0.35	89.33 \pm 0.08	28.03 \pm 0.00
Crude protein	20.70 \pm 0.00	21.38 \pm 0.01	21.10 \pm 0.00	6.76 \pm 0.02
Crude fat	2.96 \pm 0.01	2.93 \pm 0.00	2.94 \pm 0.01	1.50 \pm 0.04
Ash	7.00 \pm 0.00	7.22 \pm 0.01	7.37 \pm 0.01	10.58 \pm 0.00
NFC	23.59 \pm 0.03	18.58 \pm 0.01	22.01 \pm 0.83	10.49 \pm 0.48
NDF	45.74 \pm 0.02	49.89 \pm 0.02	46.57 \pm 0.84	70.67 \pm 0.46
ADF	18.78 \pm 0.01	20.64 \pm 0.03	22.12 \pm 0.04	43.10 \pm 0.05
ADL	3.98 \pm 0.01	3.69 \pm 0.00	3.76 \pm 0.00	5.74 \pm 0.01
NDIN	1.64 \pm 0.04	1.91 \pm 0.04	1.43 \pm 0.09	0.55 \pm 0.002
NDICP	10.25 \pm 0.24	11.95 \pm 0.22	8.95 \pm 0.58	3.43 \pm 0.012
ADIN	1.02 \pm 0.08	1.06 \pm 0.04	1.04 \pm 0.04	0.54 \pm 0.007
ADICP	6.39 \pm 0.47	6.63 \pm 0.24	6.51 \pm 0.27	3.36 \pm 0.047
dgDM	75.9	76.8	73.0	45.7
dgCP	61.1	60.3	59.3	-

หมายเหตุ: ADF = acid detergent fiber, ADICP = acid detergent insoluble crude protein, ADIN = acid detergent insoluble nitrogen, ADL = acid detergent lignin, NDF = neutral detergent fiber, NFC = non-fiber carbohydrate, NDIN = neutral detergent insoluble nitrogen, NDICP = neutral detergent insoluble crude protein, dgDM = effective degradability of dry matter, dgCP = effective degradability of crude protein

ตารางที่ 4.4 คุณค่าทางพลังงานในสูตรอาหารชั้นสำเร็จรูป และข้าวโพดหมัก

% Dry matter	ข้าวโพดหมัก	ระดับการเสริมสำข้าวโพด		
		Control	10 %	20 %
TDN _{IX} (%) ¹	48.68	66.853	66.246	66.135
DE _p (Mcal/kg) ²	2.29	3.115	3.104	3.100
ME _p (Mcal/kg) ³	1.86	2.696	2.695	2.680
NE _{LP} (Mcal/kg) ⁴	1.12	1.705	1.698	1.694

หมายเหตุ :

$$\begin{aligned}
 {}^1\text{TDN}_{\text{IX}} (\%) &= \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 25.25) + \text{tdNDF} - 7 \\
 \text{DE}_{\text{IX}} (\text{Mcal/kg}) &= ((\text{tdNFC}/100) \times 4.2) + ((\text{tdNDF}/100) \times 4.2) \times \\
 &\quad ((\text{tdCP}/100) \times 5.6) + \\
 &\quad ((\text{FA}/100) \times 9.4) - 0.3 \\
 {}^2\text{DE}_p (\text{Mcal/kg}) &= (((\text{TDN}_{\text{IX}} - ((0.18 \times \text{TDN}_{\text{IX}}) - 10.3)) \times \text{Intake}) / \text{TDN}_{\text{IX}}) \\
 &\quad \times \text{DE}_{\text{IX}} \\
 {}^3\text{ME}_p (\text{Mcal/kg}) &= (1.01 \times (\text{DE}_p) - 0.45) + (0.0046 \times (\text{EE} - 3)) \\
 {}^4\text{NE}_{\text{LP}} (\text{Mcal/kg}) &= (0.703 \times \text{ME}_p) - 0.19, (\text{EE} > 3\%) \\
 {}^4\text{NE}_{\text{LP}} (\text{Mcal/kg}) &= (0.703 \times \text{ME}_p) - 0.19 + ((0.097 \times \text{ME}_p) / 97) \times (\text{EE} - 30), \\
 &\quad (\text{EE} > 3\%)
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.5 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารชั้นสำเร็จรูป และข้าวโพดหมัก

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง								dgDM
	0	2	4	6	12	24	48	72	
	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	
Degradability of DM (%)								
Control	45.0	50.0	58.0	60.2	68.4	73.6	80.4	-	75.9
10 %	46.3	55.8	59.5	61.6	64.5	72.4	79.3	-	76.8
20 %	46.1	58.0	61.8	66.2	70.1	71.9	73.8		73.0
ข้าวโพดหมัก	22.5	-	37.3	42.6	45.1	50.2	60.4	60.6	45.7

หมายเหตุ : dg = Effective degradability of Dry matter

ตารางที่ 4.6 การย่อยสลายโปรตีนของอาหารชั้นสำเร็จรูป และข้าวโพดหมัก

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง								dgCP
	0	2	4	6	12	24	48		
	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง		
Degradability of CP (%)								
Control	35.8	46.2	49.2	53.7	60.9	65.8	76.0		61.1
10 %	34.2	47.0	48.6	50.5	60.5	65.4	76.2		60.3
20 %	21.3	26.8	32.6	40.3	59.8	71.5	89.9		59.3

หมายเหตุ : dg = Effective degradability of Crude protein

4.6.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

จากการทดลองปริมาณการกินได้โภชนะของโคนม เมื่อเปรียบเทียบตามกลุ่มการทดลองที่มีการเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุดิบของอาหารชั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.32, 7.27 และ 7.14 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้งต่อ/ตัว/วัน ตามลำดับ ทั้งสามกลุ่มทดลอง ปริมาณการกินได้วัตถุดิบแห้งของอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.63, 6.51 และ 7.00 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ ปริมาณการกินได้วัตถุดิบแห้งของอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.95, 13.79 และ 14.14 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ และปริมาณการกินได้วัตถุดิบแห้งต่อน้ำหนักตัว ($\text{g/kgW}^{0.75}$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 156, 155 และ 151 $\text{g/kgW}^{0.75}$ ตามลำดับโดยพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารชั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1515, 1554 และ 1507 กรัม/ตัว/วัน ทั้งสามกลุ่มทดลอง และปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 448, 440 และ 473 กรัมวัตถุดิบแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1963, 1994 และ 1980 กรัมวัตถุดิบแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้โปรตีนต่อน้ำหนักตัว ($\text{g/kgW}^{0.75}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.76, 25.67 และ 24.09 $\text{g/kgW}^{0.75}$ ตามลำดับ โดยพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อตัวต่อวัน พบว่าปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารชั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.48, 12.35 และ 12.10 Mcal/ตัว/วัน ทั้งสามกลุ่ม ทดลอง ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.43, 7.29 และ 7.84 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.91, 19.64 และ 19.94 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อน้ำหนักตัว ($\text{g/kgW}^{0.75}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25, 0.25 และ 0.23 $\text{g/kgW}^{0.75}$ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.7 ผลของการใช้ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารต่อปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้	Control	10 %	20 %	SEM	P-value	Contrast	
วัตถุแห้ง	.....(kgDM/d).....					L	Q
อาหารข้น	7.32	7.27	7.14	0.015			
อาหารหยาบ	6.63	6.51	7.00	0.147	0.215	ns	ns
รวม	13.95	13.79	14.14	0.144	0.370	ns	ns
g/kg W ^{0.75}	156	155	151	2.80	0.450	ns	ns
ปริมาณการกินได้	..... (g/d)						
โปรตีน							
อาหารข้น	1515	1554	1507	12.59			
อาหารหยาบ	448	440	473	20.46	0.298	ns	ns
รวม	1963	1994	1980	21.10	0.120	ns	ns
g/kg W ^{0.75}	25.76	25.67	24.09	0.49	0.199	ns	ns
ปริมาณการกินได้	..... (Mcal/d)						
พลังงานสุทธิ							
อาหารข้น	12.48	12.35	12.10				
อาหารหยาบ	7.43	7.29	7.84	0.165	0.217	ns	ns
รวม	19.91	19.64	19.94	0.160	0.514	ns	ns
Mcal/kg W ^{0.75}	0.25	0.25	0.23	0.005	0.188	ns	ns

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตาม

ความสัมพันธ์แบบ Orthogonal polynomials; L = linear; Q = quadratic

4.6.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลอง

การได้รับโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับการเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารข้นในโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร ร่วมกับอาหารหยาบแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 โดยประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของโปรตีน พบว่า RDP_{sup} มีค่าเท่ากับ 1240, 1245 และ 1225 กรัม/วัน ตามลำดับ และ RUP_{sup} มีค่าเท่ากับ 724, 749 และ 755 กรัม/วัน ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่

สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 พบว่าความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) ของโคนมในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 1242 กรัม/วัน โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1,222 กรัม/วัน และโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1,244 กรัม/วัน ซึ่งทั้งสามกลุ่มการทดลองได้รับ RDP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -2, 23 และ -19 กรัม/วัน ตามลำดับ ในส่วนของความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) พบว่าโคนมในกลุ่มควบคุม โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 และโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับ RUP_{req} เท่ากับ 743, 821 และ 882 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคนมในทั้ง 3 กลุ่มการทดลองได้รับ RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -29, -72 และ -127 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่าง 3 กลุ่มการทดลอง นอกจากนี้โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน เท่ากับ 1056, 1,039 และ 1,057 กรัม/วัน ตามลำดับ และความต้องการโปรตีนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1,134, 1,164 และ 1,209 กรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าโปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์และความต้องการโปรตีนทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนมที่ได้รับการเสริม ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารข้นในโคนม ที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร ตามสมการ NRC (2001) ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_L intake) มีค่าเท่ากับ 19.91, 19.64 และ 19.94 Mcal/วัน ตามลำดับ ในส่วนของพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM}) ของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าเท่ากับ 7.14, 7.20 และ 7.41 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL}) มีค่าเท่ากับ 9.62, 9.35 และ 9.41 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG}) มีค่าเท่ากับ 0.65, 1.15 และ 0.96 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) มีค่าเท่ากับ 17.41, 17.70 และ 17.78 Mcal/วันตามลำดับ และประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีค่าเท่ากับ 0.87, 0.90 และ 0.89 ตามลำดับ โดยพบว่าพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และพลังงานที่โคนมได้รับจากอาหารนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและโคนมต้องการ

	Control	10 %	20 %	SEM	P-value	Contrast	
	..... (g/head/day).....					L	Q
ความต้องการ RDP _{req}	1242	1222	1244	10.69	0.463	ns	ns
(RDP _{sup}) จากอาหาร	1240	1245	1225	6.55	0.070	ns	ns
ขาด/เกิน	-2	+23	-19	5.47	0.838	ns	ns
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน (MCP)	1056	1039	1057	9.09	0.462	ns	ns
ความต้องการ โปรตีนทั้งหมด (MP _r)	1134	1164	1209	25.80	0.280	ns	ns
ความต้องการ RUP _{req}	743	821	882	43.45	0.233	ns	ns
(RUP _{sup}) จากอาหาร	724	749	755	7.55	0.149	ns	ns
ขาด/เกิน	-29	-72	-127	41.06	0.320	ns	ns

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตาม

ความสัมพันธ์แบบ Orthogonal polynomials; L = linear; Q = quadratic

ตารางที่ 4.9 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร

	Control	10 %	20 %	SEM	P-value	Contrast	
	.....(Mcal/day).....					L	Q
การกินได้พลังงานสุทธิ (NE _L intake)	19.91	19.64	19.94	0.160	0.514	ns	ns
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE _{LM})	7.14	7.20	7.41	0.168	0.566	ns	ns
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE _{LL})	9.62	9.35	9.41	0.162	0.537	ns	ns
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE _{LG})	0.65	1.15	0.96	0.114	0.097	ns	ns
พลังงานสุทธิสะสม (NE _{LR})	17.41	17.70	17.78	0.249	0.599	ns	ns
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficiency)	0.87	0.90	0.89	0.019	0.413	ns	ns

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตาม

ความสัมพันธ์แบบ Orthogonal polynomials; L = linear; Q = quadratic

4.6.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัว และ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนมที่ได้รับการ เสริมสาข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 พบว่าน้ำหนักตัวของโคนมก่อนการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 401, 406 และ 422 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักตัวหลังสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 400, 400 และ 417 กิโลกรัม ตามลำดับ และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -33, -200 และ - 166 กรัม ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 4.10 ผลของการใช้สาข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

น้ำหนัก (กิโลกรัม)	Treatment			SEM	P-value	Contrast	
	Control	10 %	20 %			L	Q
ก่อนการทดลอง	401	406	422	13.14	0.554	ns	ns
หลังการทดลอง	400	400	417	12.54	0.620	ns	ns
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)	-33	-200	-166	84.10	0.489	ns	ns

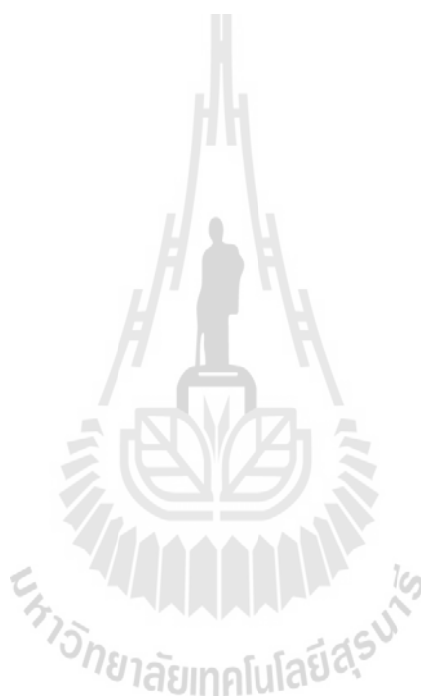
หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตาม

ความสัมพันธ์แบบ Orthogonal polynomials; L = linear; Q = quadratic

4.6.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่า โคนมกลุ่มควบคุม กลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 ที่ได้รับการ เสริม สาข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนม ที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารโคนมมีผลผลิตน้ำนมเท่ากับ 13.65, 13.15 และ 13.88 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5% เท่ากับ 14.28, 13.96 และ 14.72 ตามลำดับ ปริมาณไขมันนมเท่ากับ 535, 544 และ 500 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนนมเท่ากับ 368, 360 และ 398 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณแล็กโตสเท่ากับ 525, 520 และ 566 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณของแข็งพร้อมไขมัน 1051, 1022 และ 1135 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณของแข็งรวมในนม 1574, 1538 และ 1658 กรัมต่อวัน ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบน้ำนมแสดงไว้ในตารางที่ 4.12 โดยพบว่า ไขมันนมมีค่าเท่ากับ 3.92, 4.03 และ 3.60% ตามลำดับ โปรตีนนมมีค่าเท่ากับ 2.75, 2.78 และ 2.76% ตามลำดับ แล็กโตสมีค่าเท่ากับ 3.93, 4.01 และ 3.92%ตามลำดับ ของแข็งพร่องไขมัน (solid not fat) มีค่าเท่ากับ 7.85, 7.89 และ 7.86 % ตามลำดับ ของแข็งในน้ำนม (total solid) มีค่าเท่ากับ 11.77, 11.94 และ 11.47% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)



ตารางที่ 4.11 ผลของการใช้ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบ บในสูตรอาหารต่อปริมาณผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนม	Control	10 %	20 %	SEM	P-value	Contrast	
	.....(kg/day).....					L	Q
ปริมาณน้ำนม	13.65	13.15	13.88	0.30	0.365	ns	ns
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5%	14.28	13.96	14.62	0.28	0.321	ns	ns
องค์ประกอบของน้ำนม	..... (g/day)						
ปริมาณไขมันนม	535	544	500	13.89	0.773	ns	ns
โปรตีนนม	368	360	398	7.88	0.060	ns	ns
ปริมาณแล็กโตส	525	520	566	11.18	0.108	ns	ns
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน	1051	1022	1135	22.80	0.054	ns	ns
ปริมาณของแข็งรวมในนม	1574	1538	1658	30.63	0.137	ns	ns

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตาม

ความสัมพันธ์แบบ Orthogonal polynomials; L = linear; Q = quadratic

ตารางที่ 4.12 ผลของการใช้ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารต่อองค์ประกอบของน้ำนม ในโคนม

เปอร์เซ็นต์	Control	10 %	20 %	SEM	P-value	Contrast	
	..... (%) .....					L	Q
ไขมันนม	3.92	4.03	3.60	0.10	0.108	ns	ns
โปรตีนนม	2.75	2.78	2.76	0.01	0.324	ns	ns
แล็กโตส	3.93	4.01	3.92	0.02	0.085	ns	ns
ของแข็งพร่องไขมัน	7.85	7.89	7.86	0.03	0.638	ns	ns
ของแข็งรวมในนม	11.77	11.94	11.47	0.10	0.064	ns	ns

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตาม

ความสัมพันธ์แบบ Orthogonal polynomials; L = linear; Q = quadratic

4.6.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในสุตรอาหารและในน้ำมัน (% of total fatty acids)

ปริมาณของกรดไขมันในอาหารชั้นและข้าวโพดหมักที่ใช้ ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่า C14:0 มีค่าเท่ากับ 4.31, 4.25, 4.19 และ 1.45 ตามลำดับ C16:0 มีค่าเท่ากับ 18.72, 20.25, 18.43 และ 20.96 ตามลำดับ C18:0 มีค่าเท่ากับ 2.10, 2.60, 2.00 และ 6.03 ตามลำดับ C18:1n9c มีค่าเท่ากับ 22.88, 23.93, 23.82 และ 7.23 ตามลำดับ C18:3n6c มีค่าเท่ากับ 14.36, 16.50, 15.93 และ 2.64 ตามลำดับ C18:3n3 มีค่าเท่ากับ 3.28, 3.29, 3.15 และ 1.87 ตามลำดับ C20:0 มีค่าเท่ากับ 7.52, 6.91, 6.51 และ 22.30 ตามลำดับ กรดไขมันบางตัวในสุตรอาหารแต่ละสุตรจะแตกต่างกัน เพราะว่าในแต่ละสุตรมีการใช้ส่วข้าวโพดในระดับที่แตกต่างกัน

ปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำมันของโคนมที่ได้รับการ เสริม ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสุตรอาหารชั้นในโคนม ที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสุตรอาหารโคนมแสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่า ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของปริมาณกรดไขมันตั้งแต่ C4:0 จนถึง C22:2 รวมไปถึง Short chain FA (C4:0 – C13:0), Medium chain FA (C14:0 – C17:0) Long chain FA ($> C18:0$) Saturated FA และ Unsaturated FA

ตารางที่ 4.13 ปริมาณของกรดไขมันในสุตรอาหารชั้นและหญ้าหมัก (% of total fatty acids)

Fatty acid profile	ข้าวโพดหมัก	ระดับการเสริมส่วข้าวโพด		
		0 %	10 %	20 %
C14:0	1.45	4.31	4.25	4.19
C16:0	20.96	18.72	20.25	18.43
C18:0	6.03	2.10	2.60	2.00
C18:1n9c	7.23	22.88	23.93	23.82
C18:3n6c	2.64	14.36	16.50	15.93
C18:3n3	1.87	3.28	3.29	3.15
C20:0	22.30	7.52	6.91	6.51
C22	1.14	-	-	-
C24	6.56	-	-	-
Other	29.82	26.83	22.27	25.97

ตารางที่ 4.14 ผลของการใช้ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารตอองค้ประกอบของน้ำนม

Fatty acid profile	Control	10 %	20 %	SEM	P-value	Contrast	
	... (% of total fatty acids)...					L	Q
C4:0	5.57	4.48	4.65	0.303	0.173	ns	ns
C6:0	4.04	3.59	4.23	0.348	0.500	ns	ns
C8:0	3.00	2.73	3.88	0.190	0.509	ns	ns
C10:0	4.98	4.38	3.71	0.270	0.071	ns	ns
C12:0	4.44	4.77	4.70	0.260	0.647	ns	ns
C14:0	14.38	13.82	14.19	0.207	0.317	ns	ns
C16:1	1.38	1.59	1.64	0.058	0.081	ns	ns
C18:0	9.00	8.19	8.33	0.436	0.494	ns	ns
C18:1n9t	5.15	3.11	3.16	0.297	0.927	ns	ns
C18:1n9c	41.17	44.55	44.02	0.864	0.136	ns	ns
C18:2n6t	0.57	0.36	0.59	0.031	0.712	ns	ns
C18:2n6c	3.08	5.31	3.79	0.330	0.304	ns	ns
C20:0	1.59	1.19	1.41	0.054	0.092	ns	ns
C18:3n3	0.44	0.46	0.59	0.034	0.095	ns	ns
C20:3	0.62	0.60	0.57	0.045	0.677	ns	ns
C22:3	0.47	0.44	0.51	0.031	0.367	ns	ns
Short	22.02	19.93	21.18	0.846	0.362	ns	ns
Medium	15.76	15.41	15.84	0.224	0.486	ns	ns
Long	62.10	64.21	62.98	0.625	0.458	ns	ns
Saturated	67.20	70.03	68.81	0.019	0.253	ns	ns
Unsaturated	32.40	29.71	30.75	0.564	0.066	ns	ns

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean, Short chain FA: (C4:0 – C13:0), Medium chain FA: (C14:0 – C17:0) Long chain FA: (> C18:0) Saturated FA, Unsaturated FA,
 Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal polynomials;
 L = linear; Q = quadratic

4.7 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ทดลอง พบว่าการเสริม ส่ำข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารมีองค์ประกอบทางเคมี คือ เฟอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 20.70, 21.38 และ 21.10 ตามลำดับ ไขมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.96, 2.93 และ 2.94 ซึ่งต่ำกว่าระดับของ NRC (2001) ที่แนะนำว่าโคที่อยู่ในระยะแรกของการให้น้ำนมที่มีปริมาณน้ำนมไม่เกิน 15 กิโลกรัมต่อวัน มีโปรตีนนมเฉลี่ยไม่เกิน 3% และมีไขมันนมเฉลี่ยไม่เกิน 4.5% ควรจะได้รับอาหารชั้นที่มีโปรตีนที่ระดับ 16.3% เฟอร์เซ็นต์ แนะนำคือที่ระดับ 3% แต่ไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ส่ง ผลต่อการย่อยเซลลูโลสในกระเพาะหมักและมีค่าใกล้เคียงกับ ฌัฐนิศ ป่วนปาน (2550) และ Anderson et al (2006) ซึ่งมีเฟอร์เซ็นต์ไขมันในอาหารชั้นเท่ากับ 2.69 และ 2.28 % ตามลำดับ เฟอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (NFC) มีค่าเท่ากับ 23.59, 18.58 และ 22.01 ตามลำดับซึ่งพบว่าต่ำกว่าที่ระดับของ NRC (2001) แนะนำคือที่ระดับ 36-44% และ ปริมาณเยื่อใยหยาบ NDF ADF และ ADL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับของการเสริมส่ำข้าวโพดในสูตรอาหาร สอดคล้องกับรายงานของ Anderson et al (2006) และ Sasikala – Appukuttan et al (2008)

ทั้งนี้เนื่องจากส่ำข้าวโพดมีส่วนของเยื่อใยอยู่สูง แต่ก็มีปริมาณลิกนินอยู่ต่ำฉะนั้น NDF จาก DDGS จะสามารถย่อยได้ง่ายในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบ คือ หญ้าหมัก พบว่า มีค่าเฉลี่ยของ วัตถุแห้ง , โปรตีน, ไขมัน, เถ้า, NFC, NDF, ADF, ADL, NDIN และ ADIN เท่ากับ 28.03, 6.76, 1.50, 10.58, 10.49, 70.67, 43.10, 5.74, 2.66 และ 2.56 % ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่า NFC มีค่าต่ำกว่ารายงานของ ฌัฐนิศ ป่วนปาน (2550) และ ชิดชนก นวลฉิมพลี (2548) รายงานที่ระดับ 23.92% ซึ่ง NRC (2001) แนะนำ ที่ระดับ 36-44% ทั้งนี้โคที่ได้รับ NFC ระดับที่ต่ำอาจส่งผลกระทบต่อพลังงานสำหรับ จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้ ส่วนค่า NDF, ADF, ADL พบว่ามีค่าสูงกว่า ฌัฐนิศ ป่วนปาน (2550) และ ชิดชนก นวลฉิมพลี (2548) ซึ่งรายงานที่ระดับ 66.09, 40.09 และ 3.74% และ 51.97, 37.01 และ 4.59 ตามลำดับ ทั้งนี้เฟอร์เซ็นต์ NFC ในข้าวโพดหมักมีค่าแตกต่างกันออกไปอาจเนื่องจากระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเพื่อนำมาหมักอาจแตกต่างกันออกไป

อัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (dgDM) ในอาหารชั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.9% พบว่ามีค่าสูงกว่ากับ ฌัฐนิศ ป่วนปาน (2550) และชิดชนก นวลฉิมพลี (2548) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 60 และ 55.39% ตามลำดับ ข้าวโพดหมักมีค่าเท่ากับ 45.7% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ ฌัฐนิศ ป่วนปาน (2550) ที่รายงานไว้ที่ 38.5% และอัตราการย่อยสลายของโปรตีน (dgCP) ในอาหารชั้นมี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.1 ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียง มาตรฐาน ปวนปาน (2550) และและชนิดชนก นวลนิมพลี (2548) ที่รายงานไว้ที่ 65.3 และ 67.71

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไปคำนวณหาค่าพลังงานประเภทต่าง ๆ ตามสมการของ NRC (2001) พบว่าอาหารชั้นสูตร 1 อาหารชั้นสูตร 2 อาหารชั้นสูตร 3 มีพลังงานในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN_{IX}) เท่ากับ 66.853, 66.246, 66.135 และ 48.65% ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า TDN_{IX} อาจขึ้นกับอายุในการเก็บเกี่ยวและชนิดของวัตถุดิบที่นำมาประกอบในสูตรอาหารชั้นและของหญ้าหมักเอง ซึ่งโคนมทั้งสามกลุ่มทดลองจะได้รับในปริมาณที่เท่ากันเพราะใช้อาหารชั้นและหญ้าหมักชนิดเดียวกันในการทดลอง

4.7.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการให้ผลผลิตของโคนมซึ่งเกี่ยวข้องกันการได้รับโภชนะในอาหาร จากการทดลองวัดการกินได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของโคนมทั้งอาหารชั้นและอาหารหยาบของทั้งสามกลุ่มการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Anderson et al. (2006); Sasikala et al. (2008) และไม่ส่งผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้งในโค ปริมาณการกินได้ของโปรตีนและพลังงานก็มีผลไปในทิศทางเดียวกันกับการกินได้ของวัตถุแห้ง คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสามกลุ่มทดลอง ทั้งนี้ในการทดลองมีการกินได้ของอาหารชั้นในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งพบว่าใน อาหารชั้นมีโปรตีนและพลังงาน TDN สูงกว่าอาหารหยาบมาก ดังนั้นการกินได้ของอาหารหยาบจึงเป็นตัวแปรในการได้รับโปรตีนและพลังงาน TDN ซึ่งจากการทดลองที่พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบที่ไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้การกินได้ของพลังงาน TDN และโปรตีนไม่แตกต่างกัน

4.7.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารชั้นสูตรทดลอง

ผลของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารชั้นและหญ้าหมัก พบว่า RDP_{sup} และ RUP_{sup} ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ทั้งนี้ผลเนื่องมาจากการกินได้ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ได้รับ RDP_{sup} และ RUP_{sup} ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่คำนวณตามสมการ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 พบว่าโคนมได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนมกล่าวคือ -2, 23 และ -19 กรัมต่อตัวต่อวัน ในกลุ่มควบคุม กลุ่มการทดลองที่ 1 (ส่วข้าวโพด 10 %) และกลุ่มการทดลองที่ 2 (ส่วข้าวโพด 20 %,) ตามลำดับ ซึ่งอาจแก้ปัญหาโดยการเสริมแหล่งโปรตีนในอาหาร เช่น ยูเรีย เพื่อเป็นแหล่งของแอมโมเนียไนโตรเจน

สำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เพราะทั้งนี้โปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักมีผลต่อปริมาณการกินได้ ซึ่งพบว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงกว่าจะส่งผลให้ปริมาณการกินได้สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้น้อยในกระเพาะหมัก Claypool, Pangborn and, and Adams (1980) พบว่าสาเหตุที่โปรตีนไปมีผลต่อปริมาณการกินได้เป็นเพราะว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่าจะทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักได้รับไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยได้สูงขึ้น การไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะหมักก็เพิ่มสูงขึ้นทำให้โคสามารถกินอาหารได้มากขึ้น ส่วนการได้รับโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก RUP_{sup} พบว่าโคนมทั้ง 3 กลุ่มทดลองได้รับ RUP_{sup} เกินความต้องการซึ่งอาจแก้ไขปัญหาได้โดยการใช้ by pass protein เพื่อให้สัตว์ได้รับโปรตีนตามที่ต้องการ โดย by pass protein เป็นอาหารโปรตีนที่คงตัวอยู่ในกระเพาะรูเมน ไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า โปรตีนห่อหุ้มหรือโปรตีนไหลผ่าน (By-pass protein) โปรตีนชนิดนี้ จะถูกย่อยสลายที่กระเพาะแท้หรือกระเพาะอะโบมา ซัมและลำไส้เล็ก มีความสำคัญต่อโคนมมาก โดยเฉพาะโคนมที่ให้ผลผลิตสูง ๆ เนื่องจากโปรตีนจากจุลินทรีย์อย่างเดียวไม่พอสำหรับสร้างน้ำนม อาหารชนิดหนึ่ง ๆ จะมีทั้งส่วนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักและไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก โดยปรกติเมล็ดธัญพืช หากผ่านขบวนการที่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีหรือกายภาพเปลี่ยนไป จะทำให้มีคุณสมบัติเป็นโปรตีนไหลผ่านมากขึ้น ทั้งโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักและโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก มีความสำคัญต่อการผลิตน้ำนมของโคนม โปรตีนที่ถูกย่อยในกระเพาะหมักจำเป็นต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก การหมักจะเกิด ไม่สมบูรณ์ถ้าไม่มีโปรตีนชนิดนี้ ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก จะเป็นแหล่งของกรดอะมิโนหลายชนิดที่ จุลินทรีย์ผลิตได้ไม่เพียงพอ โปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมัก ควรมีอยู่ในสูตรอาหารประมาณ 60-65% ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ควรมีในสูตรอาหาร 35-40%

การเสริมสาข้าวโศดไม่มีผลต่อการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_{intake}) และพลังงานที่โคต้องการเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ (NE_{LM} , NE_{LL} , NE_{LG} และ NE_{LR}) รวมไปถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

4.7.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ของน้ำหนักตัวก่อนการทดลอง หลังการทดลอง และอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (Body weight change, BWC) ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจาก การกินได้ของวัตถุดิบในโคนมทั้งสามกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกัน จึงไม่ ส่งผลให้น้ำหนักตัวของโคนมไม่แตกต่างกันด้วย แต่จะเห็นได้ว่ากลุ่มการทดลองทั้ง 3 กลุ่มมีการสูญเสีย น้ำหนักตัวซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากโคได้รับโภชนาไม่เพียงพอแก่ความต้องการทำให้โคต้องใช้พลังงานจากการสลายไขมันที่

สะสมในตัวออกมาใช้เป็นผลทำให้น้ำหนักลดลง แต่อย่างไรก็ตาม มีอีกสาเหตุหนึ่งคือการที่โคมีอาการป่วยทำให้การอยากกินอาหารของโคนมลดลงส่งผลให้น้ำหนักลดลงตามไปด้วย

4.7.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม

ผลของการเสริมสาขาวโพลในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมไม่ส่งผลให้ปริมาณน้ำนมใน โคนม ทั้งสามกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลอง Sasikala – Appukuttan et al. (2008); Andrson Schingoethe Kalscheur and Hippen (2006) ที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมระหว่างโคนมที่ไม่ได้รับการเสริมสาขาวโพล ซึ่งการเสริมสาขาวโพลไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตของโคนม ในการทดลองครั้งนี้ก็นำมาจากหลายสาเหตุ คือ โคนมมีการกินได้ของวัตถุดิบที่ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำให้ไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม และการที่โคนมที่ใช้ในการ ทดลองครั้งนี้มีผลผลิตน้ำนมที่ต่ำเกินไปรวมไปถึงโคนมได้รับอาหารชั้น 8 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งถือมี ปริมาณสูงเมื่อเทียบกับปริมาณของผลผลิตน้ำนมในแต่ละวัน เพราะพลังงานและ โภชนะที่โคนม ได้รับจากอาหารก็เพียงพออยู่แล้ว

ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน และของแข็งรวมในนมพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างโคทั้งสามกลุ่มการทดลอง โดยพบว่าในโคที่ให้นมลดลง คุณภาพของ น้ำนมจะสูงขึ้น คือเปอร์เซ็นต์ไขมันและ โปรตีนจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์แลคโตสค่อนข้าง คงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันในน้ำนมสูงขึ้น (ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534)

4.7.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำนม

กรดไขมันในอาหารสัตว์พบว่า อาหารชั้นนั้นก็มีกรดไขมัน C14:0, C16:0 และ C18:0 เท่ากับ 4.31, 4.25, 4.19 และ 18.72, 20.25, 18.43 และ 2.10, 2.60, 2.00 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่ารายงานของ ฉันทนิตย์ ป่วนปาน (2550) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 9.67, 10.02, 9.45 และ 18.53, 20.33, 18.46 และ 3.83, 4.23, 3.98 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันชนิดอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังตาราง ที่ 4.13 ส่วนองค์ประกอบของกรดไขมันใน ข้าวโพลหมัก พบว่า C16:0 และ C20:0 มีค่าเท่ากับ 20.96 และ 22.30% ของปริมาณกรดไขมัน ทั้งหมด ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำและสูงกว่ารายงานของ ฉันทนิตย์ ป่วนปาน (2550) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 24.13 และ 2.14% ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด แต่ องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดอื่น ๆ มีค่า ใกล้เคียงกัน ซึ่งการที่กรดไขมันในอาหารชั้นมีความผันแปรนั้น อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบที่นำมา ประกอบสูตรอาหารโคนมที่นำมาใช้ในการทดลองมีสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารที่แตกต่างกันในการ ที่จะประกอบเป็นสูตรอาหารที่มีโปรตีน 21% ส่วนอาหารหยาบอาจจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น มีอายุในการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน ฤดูในการเพาะปลูก เป็นต้น

ปริมาณของกรดไขมันในน้ำมัน พบว่า ปริมาณของกรดไขมันตั้งแต่ C4:0-C22:0 ในน้ำมันของโคนมทั้งสามกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งมีผลสอดคล้องกับ Cruz et al. (2005) ที่รายงานว่า การเสริมส่วข้าวโพดระดับ 10 และ 20% ในสูตรอาหารในโคนมระยะแรกของการให้น้ำนม ไม่มีผลต่อปริมาณของกรดไขมันในน้ำมัน

4.8 สรุปผลการทดลอง

การทดลองเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารโคนม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของการกินได้ของวัตถุแห้งทั้งอาหารชั้น อาหารหยาบและการกินได้ของวัตถุแห้งรวม รวมไปถึงปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆของโคนม นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลง น้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำมันก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.9 รายการอ้างอิง

- ชวนิศดากร วรวรรณ. (2534). การเลี้ยงโคนม. ไทยวัฒนาพานิช. 365 หน้า.
- ชิดชนก นวลนิมพลี. (2548). ผลการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการผสมติด ของโคนมระยะโคสาว และการให้ผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะกลางการให้นม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ณัฐนิศ ป่วนปาน. (2550). การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนส่วข้าวโพดบดในอาหารโคนม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- พิมพ์ทิพย์ จันทร์พานิชเจริญ. (2546). การใช้ต้นอ้อยหมักและต้นอ้อยสดเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนมในช่วงฤดูแล้ง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Anderson, J. L., Schingoethe, J. D., Kalscheur, F. K., and Hippen, A. R. (2006). Evaluation of Dried and Wet Distillers Grains Included at Two Concentrations in the Diets of Lactating Dairy Cows. **J. Dairy Sci.** 89: 3133-3142.
- Association of Official Analytical Chemists. (1990). **Official Method of Analysis.** Washington D. C. p. 1298.
- Da Cruz, C. R., Brouk, M. J., and Schingoethe, D. J. (2005). Lactational Response of Cows Fed

- Condensed Corn Distillers Solubles. **J. Dairy Sci.** 88:4000–4006.
- Folch, J., Lees, M., and Sloane-stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids form animal tissues. **J. biol. chem.** 226: 495-509.
- Kelly, M. L., KolverBauman, D. E., Van Amburgh, M.E., and Muller, L.D. (1998). Effect of intake of pasture on concentration of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. **J. Dairy Sci.** 81: 1630 – 1636.
- Metcalf, L. D., Schmitz, A. A., and Pelka, J. R. (1996). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. **Anal. Chem.** 38: 514 – 515.
- National Research Coucil. (2001). **Nurient Requirements of Dairy Cattle**. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Noll, S., Stangeland, V., Speers, G. and Brannon, J. (2001). **Distillers grains in poultry diets**. 62nd Minnesota Nutrition Conference and Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium, Bloomington,MN. September 11-12, 2001.
- Sasikala-Appukuttan, A. K., D. J. Schingoethe, A. R. Hippen, K. F. Kalscheur, K. Karges, and M.L. Gibson. (2008). The Feeding Value of Corn Distillers Solubles for Lactating Dairy Cows. **J. Dairy Sci.** 91:279–287.
- Schingoethe, D. J. (2007). Feeding corn distillers grains to dairy cattle. **J. Dairy Sci.** 91:15–28
- Steel, R. G. D., and Torrie, J. H. (1980). **Principles and Procedures of Statistics**: a biometric approach (2nd Ed). McGrawhill: New York.

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การศึกษาผลของการใช้ส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นต่อผลผลิต องค์ประกอบและกรดไขมันของน้ำนมในโคนมของโคนมระยะแรกของการให้น้ำนม (early lactation) โดยใช้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟริเซียน (Crossbreed Holstein Friesian) โดยให้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟริเซียน (Crossbreed Holstein Friesian)

สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 การเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่อระดับ pH แอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) และกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก (Volatile fatty acids, VFAs) ของโคนมและเหมาะสมต่อการบวกรวมการหมัก ดังนั้น การเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของโคนม

5.1.2 การเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร ไม่มีผลทำให้การกินได้ของวัตถุดิบอาหารชั้น อาหารหยาบ และวัตถุดิบทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลง โดยสัตว์ทั้งสามกลุ่มทดลองกินอาหารชั้นและอาหารหยาบชนิดเดียวกัน การเสริมส่วข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารชั้นในโคนมที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่อความต้องการโปรตีนทั้งหมด ความต้องการ RDP และ RUP รวมไปถึงความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนม นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมส่วข้าวโพด ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (โปรตีน ไขมัน แลคโตส ของแข็งรวมในน้ำนม และของแข็งพร่องไขมัน) และสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองครั้งต่อไปควรทำการทดลองในโคนม ในช่วงต้นของการให้น้ำนม เพราะว่าโคนมในช่วงต้นของการให้น้ำนมต้องการโภชนาการโปรตีนสูง ดังนั้นการเสริมส่วข้าวโพดในสูตรอาหารจะทำให้ช่วยลดต้นทุนในการผลิตอาหาร นอกจากนี้ควรทดลองใช้ส่วข้าวโพดรวม อาหารหยาบในช่วงที่อาหารหยาบขาดแคลนเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหารหยาบ





1. การคำนวณพลังงานในอาหาร (Energy from feed) (NRC, 2001)

1.1 พลังงานของข้าวโพดหมัก

พลังงานจาก NFC

$$\begin{aligned}\text{Truly digestible NFC (tdNFC)} &= 0.98(100 - [\text{NDFN} + \text{CP} + \text{EE} + \text{Ash}]) \times \text{PAF} \\ &= 0.98(100 - [67.25 + 6.76 + 1.5 + 10.58]) \\ &= 13.64 \%\end{aligned}$$

หมายเหตุ ค่า PAF มีได้นำมาคำนวณทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบมีได้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนหรืออบด้วยไอน้ำ

พลังงานจากโปรตีน

$$\begin{aligned}\text{True digestible CP for forages (tdCPf)} &= \text{CP} \times \exp[-1.2 \times (\text{ADICP}/\text{CP})] \\ &= 6.76 \times \exp[-1.2 \times (3.36/6.52)] \\ &= 3.73 \%\end{aligned}$$

พลังงานจากไขมัน

$$\begin{aligned}\text{True digestible FA (tdFA)} &= (\text{EE} - 1.0) \times 2.25 \\ &= (1.50 - 1.0) \times 2.25 \\ &= 1.13 \%\end{aligned}$$

พลังงานจาก NDF

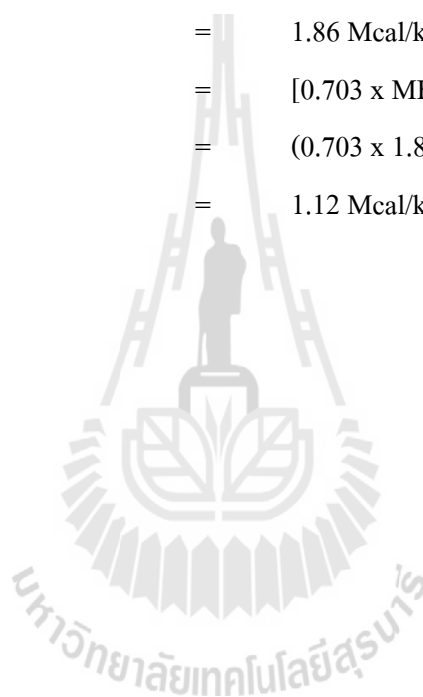
$$\begin{aligned}\text{True digestible NDF (tdNDF)} &= 0.75 \times (\text{NDFN} - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin}/\text{NDFN})^{0.667}] \\ \text{True digestible NDF (tdNDF)} &= 0.75 \times (67.25 - 5.74) [1 - (5.74/(67.25)^{0.667})] \\ &= 37.19 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{TDN1X (\%)} &= \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \\ &= 13.64 + 3.73 + (1.13 \times 2.25) + 37.19 - 7 \\ &= 48.68 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{DE1X (Mcal/kg)} &= [(\text{tdNFC}/100) \times 4.2] + [(\text{tdNDF}/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(\text{tdCP}/100) \times 5.6] + [(\text{FA}/100) \times 9.4] - 0.3 \\ &= [(13.64/100) \times 4.2] + [(37.19/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(3.73/100) \times 5.6] + [(1.13/100) \times 9.4] - 0.3 \\ &= 2.15 \text{ Mcal/kg}\end{aligned}$$

$$\text{Discount} = [\text{TDN1X} - [(0.18 \times \text{TDN1X}) - 10.3]] \times$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Intake)}/\text{TDN1X} \\
 & = [(48.68 - [(0.18 \times 48.68) - 10.3]) \times 2] / 48.68 \\
 & = 1.06 \\
 \text{DEp(Mcal/kg)} & = \text{DE1X} \times \text{Discount} \\
 & = 2.15 \times 1.06 \\
 & = 2.29 \text{ Mcal/kg} \\
 \text{MEp(Mcal/kg)} & = 1.01 \times \text{DE (Mcal/kg)} - 0.45 \\
 & = (1.01 \times 2.29) - 0.45 \\
 & = 1.86 \text{ Mcal/kg} \\
 \text{NELP (Mcal/kg)} & = [0.703 \times \text{MEP(Mcal/kg)}] - 0.19 \\
 & = (0.703 \times 1.86) - 0.19 \\
 & = 1.12 \text{ Mcal/kg}
 \end{aligned}$$



2. การคำนวณพลังงานในอาหารชั้น (Energy from feed) (NRC, 2001)

พลังงานจาก NFC

$$\begin{aligned}\text{Truly digestible NFC (tdNFC)} &= 0.98(100 - [\text{NDFN} + \text{CP} + \text{EE} + \text{Ash}]) \times \text{PAF} \\ &= 0.98(100 - [37.62 + 21.10 + 2.94 + 7.37]) \times 1 \\ &= 30.35 \%\end{aligned}$$

หมายเหตุ ค่า PAF มีค่าเท่ากับ 1

พลังงานจาก โปรตีน

$$\begin{aligned}\text{True digestible CP for Concentrate (tdCPc)} &= [1 - (0.4 \times (\text{ADICP}/\text{CP}))] \times \text{CP} \\ &= [1 - (0.4 \times (6.51/21.10))] \times 21.10 \\ &= 18.50 \%\end{aligned}$$

พลังงานจากไขมัน

$$\begin{aligned}\text{True digestible FA (tdFA)} &= \text{EE} - 1.5 \\ &= 2.94 - 1.5 \\ &= 1.44 \%\end{aligned}$$

พลังงานจาก NDF

$$\begin{aligned}\text{True digestible NDF (tdNDF)} &= 0.75 \times (\text{NDFN} - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin}/\text{NDFN})^{0.667}] \\ \text{True digestible NDF (tdNDF)} &= 0.75 \times (37.62 - 3.76) [1 - (3.76/(37.62)^{0.667})] \\ &= 19.92 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{TDN1X (\%)} &= \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \\ &= 30.35 + 18.50 + (1.44 \times 2.25) + 19.92 - 7 \\ &= 66.14 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{DE1X (Mcal/kg)} &= [(\text{tdNFC}/100) \times 4.2] + [(\text{tdNDF}/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(\text{tdCP}/100) \times 5.6] + [(\text{FA}/100) \times 9.4] - 0.3 \\ &= [(30.35/100) \times 4.2] + [(19.92/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(18.50/100) \times 5.6] + [(1.44/100) \times 9.4] - 0.3 \\ &= 3.26 \text{ Mcal/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Discount} &= [(\text{TDN1X} - [(0.18 \times \text{TDN1X}) - 10.3]) \times \\ &\quad \text{Intake}]/\text{TDN1X} \\ &= [(66.14 - [(0.18 \times 66.14) - 10.3]) \times 2]/66.14 \\ &= 0.95\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{DEp(Mcal/kg)} &= \text{DE1X} \times \text{Discount} \\ &= 3.26 \times 0.95 \\ &= 3.10 \text{ Mcal/kg} \\ \text{MEp(Mcal/kg)} &= 1.01 \times \text{DE (Mcal/kg)} - 0.45 \\ &= (1.01 \times 3.10) - 0.45 \\ &= 2.68 \text{ Mcal/kg} \\ \text{NELP (Mcal/kg)} &= [0.703 \times \text{MEP(Mcal/kg)}] - 0.19 \\ &= (0.703 \times 2.68) - 0.19 \\ &= 1.69 \text{ Mcal/kg}\end{aligned}$$



3. การคำนวณความต้องการพลังงาน (Energy Requirement) ของโครีดนม (NRC, 2001)

โครีดนมได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหายาร่วมกับอาหารข้น

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 532 kg LW ให้นมเฉลี่ยวันละ 12.55 kg น้ำนมมีไขมัน 3.77% และ

โปรตีน 2.85% โครีดนมมีน้ำหนักตัวลดลงวันละ 0.06 กิโลกรัม มีค่า BCS 3.5

NELR	=	NELM+NELG+NELL
NELM (Mcal/kg)	=	0.08 x (Live Weight) ^{0.75}
	=	0.08 x (532) ^{0.75}
	=	8.86 Mcal/day
NELGain (Mcal/kg)	=	Reserve Energy x (0.64/0.75)
NELLoss (Mcal/kg)	=	Reserve Energy x 0.82
Reserve Energy	=	(Proportion of empty body fat x 9.4)
		+(Proportion of Empty Body protein x 5.5)
Proportion of empty body fat	=	0.037683 x BCS(9)
Proportion of empty body protein	=	0.20086 – [0.0066762 x BCS(9)]
BCS (9)	=	((Dairy BCS – 1) x 2) + 1
	=	((3.5 – 1) x 2) + 1
	=	6
Proportion of empty body fat	=	0.037683 x 6
	=	0.23
Proportion of empty body protein	=	0.20086 – (0.0066762 x 6)
	=	0.16
Reserve Energy	=	(0.226098 x 9.4) + (0.1608288 x 5.5)
	=	3.02
NELG (Mcal/kg)	=	0.17 Mcal/day
NELL (Mcal/kg)	=	(0.0929 x Fat%) + (0.0547 x Crude Protein%)
+ 0.192		
	=	[(0.0929 x 3.77) + (0.0547 x 2.85) + 0.192] x
		12.55 (kg milk/d)
	=	8.76 Mcal/day
NELR	=	8.86 + 0.17 + 8.76
	=	17.80 Mcal/day

ดังนั้นโครีดนม ซึ่งได้รับหญ้าหมักร่วมกับอาหารข้น จะมีความต้องการพลังงานในรูปของ NE ทั้งหมดเท่ากับ 17.80 Mcal/day

ตารางที่ ก.1 แสดงราคาของสูตรอาหาร

วัตถุดิบอาหารสัตว์	ราคา ณ วันที่ทำการทดลอง				ราคาปัจจุบัน			
	ราคา/กก.	กก.	กก.	กก.	ราคา/กก.	กก.	กก.	กก.
ส่ำข้าวโพด	5.80	0	100	200	12.5	0	100	200
กากมัน	2.20	235	235	235	3.5	235	235	235
รำข้าว	5.58	100	100	100	10	100	100	100
บាយพาสไทม์	42.00	2	2	2	47	2	2	2
กากปาล์มเนื้อใน	4.15	338	288	238	5	338	288	238
กากถั่วเหลือง	9.80	200	150	100	16.5	200	150	100
กากน้ำตาล	5.23	70	70	70	12	70	70	70
ยูเรีย	10.60	25	25	25	19.5	25	25	25
แร่ธาตุ	6.96	25	25	25	4.4	25	25	25
พรีมิกซ์	31.00	5	5	5	31	5	5	5
ต้นทุนวัตถุดิบ/กก.		5.4818	5.3643	5.2468		8.499	8.674	8.849
ต้นทุนโรงงาน		0.75	0.75	0.75		0.75	0.75	0.75
ต้นทุนทั้งหมด/กก.		6.23	6.11	6.00		9.249	9.424	9.599
ต้นทุน/50 กก.		311.59	305.715	299.84		462.45	471.2	479.95
ราคาขาย		340	340	340		525	525	525
กำไร		28.41	34.285	40.16		62.55	53.8	45.05

ประวัติผู้เขียน

นางสาวธีรารัตน์ ยืนสุข เกิดเมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดมหาสารคาม เป็นบุตรของนายสุริยะ และ นางสุขสันต์ ยืนสุข เริ่มศึกษาชั้นประถมที่โรงเรียนเมืองวาปีปทุม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนวาปีปทุม และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขต จันทบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2549 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2550

